

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

**HODNOCENÍ VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ
ASFALTOVÝCH SMĚSÍ SE ZVÝŠENOU MEZEROVITOSTÍ**

EVALUATION OF SELECTED PROPERTIES OF ASPHALT MIXTURES WITH HIGH AIR VOID
CONTENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Jakub

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠPERKA

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tomáš Jakub
Název	Hodnocení vybraných vlastností asfaltových směsí se zvýšenou mezerovitostí
Vedoucí práce	Ing. Pavel Šperka
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Předané vzorky asfaltu, asfaltových směsí a kameniva

Normy řady ČSN EN 13108

Zkušební normy řady ČSN EN 12697

Norma ASHTOO T283

Sborníky z konferencí AV 2017 a AV 2019

Diplomové a bakalářské práce z předchozích let

Odborné publikace z internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce se bude zabývat asfaltovými směsmi se zvýšenou mezerovitostí. Student nejprve provede rešerši dostupné odborné literatury zabývající se danou problematikou. V praktické části bude student pomocí vhodně zvolených metod zkoumat vlastnosti asfaltových směsí s vyšší mezerovitostí. Cílem práce bude vzájemně porovnat vlastnosti směsí s různou mezerovitostí a výsledky porovnat se stávajícími předpisy.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Pavel Šperka
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na vybrané vlastnosti asfaltových směsí s vyšší mezerovitostí. První, teoretická část práce se zabývá rešerší dostupné literatury, a to zejména z hlediska rozdělení směsí se zvýšenou mezerovitostí a základními vlivy mezerovitosti na chování asfaltové směsi. Druhá, praktická část práce se zabývá stanovením vlastností dvou asfaltových směsí se zvýšenou mezerovitostí, a to: asfaltového koberce drenážního (PA 8) a asfaltového koberce mastixového se zvýšenou mezerovitostí (SMA NH 8). Nejprve jsou popsány použité zkušební metody a použité materiály. V rámci práce byly modifikovány některé zkušební postupy s cílem simulovat vliv účinků mrazu a soli na asfaltové vrstvy. Nedílnou součástí praktické části je stanovení odolnosti vůči vodě (ITSR), mrazu a soli připravených směsí, jejich vzájemné porovnání a srovnání se stávajícími předpisy.

KLÍČOVÁ SLOVA

asfaltová směs, modifikovaný asfalt, asfaltový koberec drenážní (PA), asfaltový koberec mastixový se sníženou hlučností (SMA NH), mezerovitost, odolnost vůči účinkům vody

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on selected properties of asphalt mixtures with higher air-voids content. The first, theoretical part of the work deals with summary of the available literature. Especially in terms of the distribution of mixtures with higher air-voids content and basic effects of air-voids content behavior of the asphalt mixtures. The second, practical part of the work deals with determine properties of two asphalt mixtures, namely: porous asphalt (PA 8) and mastix asphalt with higher air-voids content (SMA NH 8). At first is described used test's methods and used materials. Within the work, some tests were modified in order to simulate the effect of frost and salt on asphalt mixtures. An integral part of the practical part is the determination of water resistance (ITSR), frost and salt of the prepared mixture, their mutual comparison and comparison with existing regulations.

KEYWORDS

Asphalt Mixtures, Modified Bitumen, Porous Asphalt (PA), Stone Mastix Asphalt with lower Noise (SMA NH) air-voids content, Water Sensitivity

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Tomáš Jakub *Hodnocení vybraných vlastností asfaltových směsí se zvýšenou mezerovitostí*.
Brno, 2020. 49 s., 24 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,
Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Pavel Šperka

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Hodnocení vybraných vlastností asfaltových směsí se zvýšenou mezerovitostí* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 21. 5. 2020

Tomáš Jakub
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Hodnocení vybraných vlastností asfaltových směsí se zvýšenou mezerovitostí* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21. 5. 2020

Tomáš Jakub
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Zde bych chtěl v první řadě poděkovat panu Ing. Pavlu Šperkovi za odborné vedení, připomínky, cenné rady a za ochotu při tvorbě této závěrečné práce. Také bych chtěl poděkovat panu Pavlu Strakovi za pomoc při laboratorních zkouškách. Velké díky také patří panu doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi a panu Ing. Ondřeji Daškovi Ph.D. za poskytnuté vzorky asfaltů.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce.....	11
3	Teoretická část.....	12
3.1	Asfaltové směsi se zvýšenou mezerovitostí.....	12
3.1.1	Asfaltový koberec drenážní PA.....	12
3.1.2	Asfaltový koberec mastixový SMA NH.....	13
3.1.3	Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy BBTM.....	15
3.1.4	Další směsi s nízkou hlučností.....	15
3.2	Vliv mezerovitosti na chování asfaltových směsí.....	15
3.3	Výpočet mezerovitosti asfaltové směsi.....	16
3.4	Odolnost proti únavovým trhlinám.....	16
3.5	Míra zhutnění asfaltové směsi.....	17
3.6	Hlukové emise.....	18
3.7	Hydraulická vodivost.....	19
3.8	Stabilita.....	20
3.9	Odolnost proti tvorbě trvalých deformací.....	20
3.10	Protismykové vlastnosti asfaltové směsi.....	20
3.11	Ochlazovací efekt.....	21
3.12	Chování směsi v zimním období.....	22
3.13	Odolnost proti požáru.....	23
4	Praktická část-použité asfaltové směsi.....	25
4.1	Materiály.....	25
4.1.1	Kamenivo.....	25
4.1.2	Asfalty.....	25
4.1.3	Celulózová vlákna.....	26
4.2	Návrh asfaltových směsí.....	26
4.2.1	Směs PA 8.....	26
4.2.2	Směs SMA NH.....	27
5	Praktická část-zkušební metody.....	29
5.1	Výroba Marshallových těles.....	29
5.2	Stanovení maximální objemové hmotnosti dle ČSN EN 12697-5 [31].....	30
5.3	Odolnost proti vodě, mrazu a soli.....	31
5.3.1	Stanovení odolnosti proti vodě ITSR.....	31
5.3.2	Stanovení odolnosti asfaltových směsí vůči mrazu.....	32

5.3.3	Stanovení odolnosti asfaltových směsí vůči kombinaci působení mrazu a soli..	32
6	Praktická část-výsledky.....	34
6.1	Směs PA 8.....	34
6.1.1	Vyrobená zkušební tělesa	34
6.1.2	Odolnost proti účinkům vody, mrazu a soli	35
6.2	Směs SMA NH	38
6.2.1	Vyrobená zkušební tělesa	38
6.2.2	Odolnosti proti účinnům vody, mrazu a soli	39
7	Shrnutí výsledků.....	41
8	Závěr.....	42

1 Úvod

Při současném stavu automobilizace a s tím spojeným velkým dopravním zatížením, zejména na hlavních trasách v České republice, je nutná pravidelná obnova krytů vozovek. Mezi hlavní důvody patří zajištění vyšší bezpečnosti, trvanlivosti a také snížení hlukového zatížení, a to zejména v městských částech s velkou dopravní intenzitou. Jedním z největších nebezpečí je špatně řešené odvodnění, díky čemuž zůstává stát voda na povrchu vozovky. V důsledku toho dochází jak ke ztrátě přilnavosti na styku vozovky a styčné plochy pneumatiky (aquaplaining) a tvorbě vodní mlhy za vozidlem, tak také k zamrznání vody v zimním období. Vlivem mrazu a následného zmrznutí vody ve vozovce a v trhlinách vzniklých dopravním zatížením, či dalšími vlivy, dochází k tvorbě ledových čoček a následnému trhání krytu asfaltové vozovky, popřípadě k lokálním nadzvedáváním. Z těchto důvodů vyplývá nutnost nalézt možná řešení pro zvýšení jak trvanlivosti, tak v první řadě bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích. Jako jedním z možných řešení se jeví využití drenážních asfaltových směsí s vysokou mezerovitostí. Mezi tyto směsi patří např. asfaltový koberec drenážní, označený zkratkou PA.

V České republice, respektive v Československu došlo k prvnímu použití drenážního koberce v 70. letech 20. století. Byly zjištěny jeho kladné vlastnosti ve vztahu k bezpečnosti dopravy, zejména lepší protismykové vlastnosti, omezení vzniku vodní mlhy za vozidlem a také snížení zrcadlení vozovky po dešti. Při dalším studiu došlo ke zjištění jeho schopnosti snížení hladiny hluku od projíždějících vozidel. V rámci výzkumného projektu, na kterém se spolupodílela Fakulta stavební VUT v Brně se dokonce ukázalo, že drenážní směsi mohou pomoci při šíření požáru v silničním tunelu (viz. Teoretická část). Navzdory těmto pozitivním zjištěním v současné době v České republice prakticky nedochází k použití drenážních koberců a je snaha jejich využívání výrazně omezit. Hlavními důvody jsou obavy z jeho negativních vlastností, mezi které patří nutnost jejich pravidelného čištění a nižší odolnost vůči působení nízkých teplot, zejm. při zamrznutí vody v drenážní vrstvě (hlavně při častém střídání mrazů a období tání), což může vést k následnému poškození vrstev. Využití drenážních asfaltových směsí s vysokou mezerovitostí je tak v současné době kontroverzním a diskutovaným tématem. Lze konstatovat, že v zahraničí byl drenážní koberec použit poprvé v roce 1950, a k jeho širokému použití dochází po celou dobu až dodnes. Např. v 90. letech byla většina dálničních sítí v Nizozemí pokryta tímto druhem asfaltového krytu. [18]

2 Cíle práce

Asfaltové drenážní směsi, kterým se věnuji v této bakalářské práci mě zaujaly pro svoji schopnost odvodu vody z povrchu vozovky přes její konstrukci. Další vlastností, která mě zaujala je redukce hluku od provozu na komunikacích. Poté jsem byl také seznámen s příznivými výsledky zkoušek projektu TAČR s názvem „Asfalty v silničních tunelech“. V této práci se věnovali požární odolnosti asfaltových směsí a povrchů v tunelech. Dalším podnětem byla diplomová práce Ing. Řehulky, který se věnoval směsím se zvýšenou mezerovitostí SMA NH, avšak neprovedl zkoušku ITSR, a chtěl jsem tak na tuto práci navázat.

Hlavním cílem práce je porovnání vlastností běžné drenážní směsi a směsi SMA NH. Základním prvkem této odborné práce bude rešerše odborné literatury zabývající se asfaltovými směsí se zvýšenou mezerovitostí, hlavně ohledně vlivu mezerovitosti na chování asfaltové směsi. V praktické části se bude práce zabývat zkoušením dvou směsí s různou mezerovitostí, kde jedna bude mít mezerovitost okolo 10 % a druhá směs okolo 20 %. Z těchto směsí se vyrobí sady zkušebních těles pro vzájemné porovnání. Tělesa se budou zkoušet a porovnávat v následujících zkouškách:

- Odolnost proti působení vody ITSR,
- Odolnost proti účinkům vody a mrazu,
- Odolnost proti kombinaci účinků vody, soli a mrazu.

Cílem je stanovit, zda směsi odolají mrazovým cyklům a účinkům soli, resp. jejich kombinaci. Následně budou vzájemně porovnány výsledky obou směsí a také budou porovnány se stávajícími předpisy.

3 Teoretická část

3.1 Asfaltové směsi se zvýšenou mezerovitostí

Tato část se zabývá rozdělením a charakteristikou asfaltových směsí s vyšší mezerovitostí.

Obecně lze říct, že mezi asfaltové směsi s vyšší mezerovitostí patří:

- Asfaltový koberec drenážní PA,
- Asfaltový koberec mastixový se sníženou hlučností SMA NH,
- Asfaltový koberec pro velmi tenké vrstvy BBTM.

V následujících kapitolách uvádím bližší charakteristiky těchto směsí.

3.1.1 Asfaltový koberec drenážní PA

„Asfaltový koberec drenážní je asfaltová směs určená pro obrusné vrstvy silničních a dálničních vozovek. Dále se též v ČR často používá jako podklad pro sportovní hřiště, kdy se na vrstvu z asfaltového koberce drenážního pokládá umělý povrch (hmota dobře zateče do struktury asfaltové směsi). Jedná se o asfaltovou směs s vysokou mezerovitostí, a to více jak 16 %. Čára zrnitosti není plynulá, nosnou kostru tvoří kamenivo hrubší frakce v množství cca 70 % a více. Z tohoto důvodu jsou kladeny vysoké požadavky na otlukovost, ohladitelnost a tvarový index kameniva.

Jako asfaltové pojivo se používá zejména polymerem modifikovaný asfalt nebo asfalt modifikovaný drcenou pryží, výjimečně pak silniční asfalt. V případě použití silničního asfaltu a polymerem modifikovaného asfaltu je nutné k zabránění stékání pojiva použít stabilizační vlákna (např. celulósová). Při návrhu směsi se požadovaná mezerovitost pohybuje v rozmezí 16 až 30 %. Pro zajištění dobrého drenážního účinku se např. v německých předpisech požaduje mezerovitost vyšší než 23 %“. [21]

Nejvíce rozšířeno je použití drenážního asfaltového koberce v Holandsku, kde je tento typ povrchu použit až na 80 % dálniční sítě. Výraznějšího zlepšení drenážních schopností lze dosáhnout použitím dvou vrstev. Jako ložní vrstva je použita směs s maximální velikostí zrna větší než u obrusné vrstvy (např. 16 mm v ložné vrstvě oproti 8 mm v obrusné vrstvě).

Základní vlastností drenážního koberce je významné zvýšení schopnosti odvodu vody přes samotnou konstrukci krytové vrstvy vozovky, oproti standardně používaným směsím.

V důsledku toho dochází ke zlepšení protismykových vlastností a také k snížení možnosti tzv. aquaplaningu. Další vlastností je redukce hluku od provozu, v rozsahu 3 až 5 dB.

Drenážní asfaltovou směs je nutno pokládat na vodonepropustnou vrstvu a hutnit se pomocí statických válců (bez vibrací).

Pro správnou funkčnost drenážních vlastností a s tím souvisejících protismykových vlastností je nutná pravidelná údržba vysokotlakou vodou. Čištění je zvláště důležité po zimním období (i během zimního období). [21]



Obrázek 1 Asfaltový koberec drenážní [27]

3.1.2 Asfaltový koberec mastixový se sníženou hlučností SMA NH

„Asfaltový koberec mastixový SMA je určen pro obrusné vrstvy vysoce zatížených silničních a dálničních vozovek a křižovatek. Čára zrnitosti není plynulá, nosnou kostru směsi tvoří zejména nejhrubší frakce kameniva, kamenivo cca pod velikost 2 mm je výplňové a společně s asfaltovým pojivem a kamennou moučkou vytváří asfaltovou maltu – mastix, která vzájemně tmelí zrna nosné kostry.

Tato směs byla vyvinuta v 70. letech v Německu pro vozovky, kde se používaly pneumatiky s hřeby. Protože kostra celé směsi je postavena na vzájemném dotyku velkých zrn, je zapotřebí, aby bylo použito pro nejhrubší frakci vysoce kvalitní kamenivo (zejména s nízkou otlukovostí a dobrým tvarovým indexem).“ [21]

Směs asfaltového koberce drenážního SMA NH je charakteristická sníženou hlučností.

Množství asfaltu používané ve směsi SMA NH se pohybuje mezi 6 až 8 %. V České republice se používají jenom modifikované asfalty. Dále se přidávají akrylátová nebo celulózová vlákna, aby došlo k zabránění stékání asfaltového pojiva. Množství použitých vláken se posuzuje dle zkoušky stékavosti [2]. Velikost mezerovitosti asfaltové směsi SMA NH je v ČR 9 až 12 %. [22]

Asfaltový koberec mastixový má díky své příznivé makrotextuře mírný vliv na snížení hladiny hluku od dopravy. Mezi jeho další vlastnosti patří pomalý proces stárnutí, vysoká odolnost proti trvalým deformacím a proti mrazovým trhlinám a v neposlední řadě dobrá přilnavost k podkladu. [21] Návrh směsi se řídil TP 259 [32].



Obrázek 2 Asfaltový koberec mastixový [28]

3.1.3 Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy BBTM

„Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy je určen pro stavbu obrusných vrstev silničních a dálničních vozovek, letištních a jiných zpevněných ploch. Asfaltové betony pro velmi tenké vrstvy mají většinou skeletovou kostru, což znamená, že mají přerušenou čáru zrnitosti kameniva. Částice kameniva jsou odstupňovány tak, aby umožňovaly vytvoření otevřené povrchové struktury, přičemž se používá kamenivo s maximální velikostí zrn do 5 mm, 8 mm nebo 11 mm. Jako asfaltová pojiva se většinou používají silniční asfalty, polymerem modifikované asfalty nebo speciální modifikované asfalty (např. asfalty modifikované pryžovým granulátem).“ [21]

Směs se dále dělí dle mezerovitosti na BBTM A, kde je mezerovitost od 3 % do 6 %, BBTM B má mezerovitost od 11 % do 15 % a BBTM C, kde se mezerovitost pohybuje od 2,5 % do 4,5 %. Další hodnoty a požadavky na tyto směsi jsou uvedeny v normě ČSN EN 13108-2 OPRAVA 1 Asfaltové směsi-Specifikace pro materiály-Část 2: Asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy, příloha F.

3.1.4 Další směsi s nízkou hlučností

Dále se používají směsi s nízkou hlučností pod obchodními názvy. Pro příklad lze uvést firmu Colas a její směs Microville. Jedná se o směs frakce 0/8 mm a je určena pro obrusné vrstvy vozovek. Používá se, ale jen jako tenkovrstvá úprava. [29]

3.2 Vliv mezerovitosti na chování asfaltových směsí

Jednou ze základních vlastností asfaltových směsí je mezerovitost. Jedná se o množství vzduchových pórů ve směsi. Na mezerovitost má hlavní vliv použití rozdílných frakcí kameniva a také množství dávkovaného asfaltového pojiva. Čára zrnitosti kameniva je plynulá pro směsi typu asfaltový beton a přerušená (zalomená) pro směsi typu asfaltový koberec mastixový a zejména pak pro asfaltový koberec drenážní. Velikost mezerovitosti, která se stanovuje v procentuálním zastoupení, má vliv na chování směsi během doby užívání. Míra mezerovitosti významně ovlivňuje schopnost asfaltové vrstvy odvádět vodu, jak v příčném směru, tak i ve směru podélném do spodních konstrukčních vrstev vozovky. Dále ovlivňuje mezerovitost hladinu akustického zatížení od pneumatik projíždějících vozidel a v neposlední řadě tvorbu vodní mlhy a odlesků po dešti. Návrh samotné asfaltové směsi, a především použité frakce kameniva, mají zásadní vliv na mezerovitost směsi. Volba frakcí rozhoduje to o tom, zda se jedná o směs s přerušenou čárou zrnitosti nebo směs s plynulou čarou zrnitosti. [1], [8]

Mezerovitost vrstev po zhutnění asfaltových směsí SMA LA a PA po zhutnění lze vidět na obrázcích 1. a 2.

3.3 Výpočet mezerovitosti asfaltové směsi

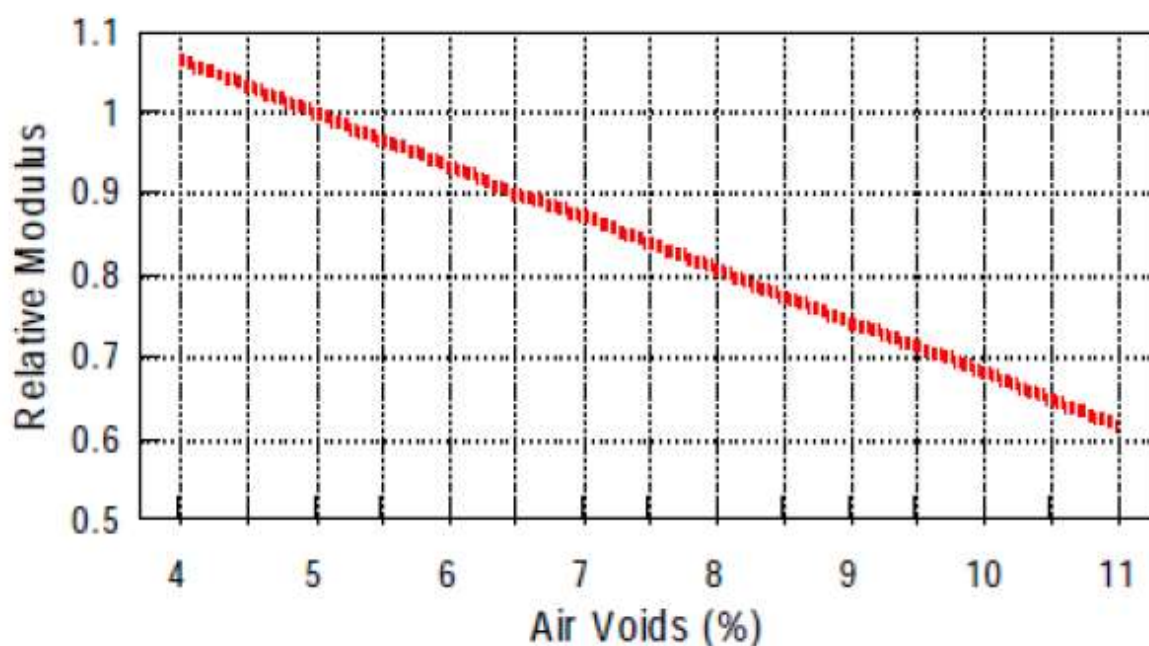
Samotný výpočet vychází z poměru objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa a maximální objemové hmotnosti asfaltové směsi [1].

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100\%,$$

kde V_m je mezerovitost směsi s přesností na 0,1%
 ρ_m Maximální objemová hmotnost směsi v kg/m^3
 ρ_b Objemová hmotnost zkušebního tělesa v kg/m^3

3.4 Odolnost proti únavovým trhlinám

Míra mezerovitosti má významný vliv na odolnost asfaltových směsí vůči únavě. Se zvyšující se mezerovitostí dochází k významnému snížení odolnosti, jak lze pozorovat na obrázku číslu. Laboratorním měřením se zjistilo, že únavová odolnost se snižuje o více jak 35 % při zvýšení mezerovitosti již o 1 %. Vliv na únavovou odolnost má velkou měrou míra zhutnění asfaltové směsi v konstrukci vozovky (viz kap. 1.5.). [2] [5]



Obrázek 3 Vztah mezerovitosti a únavy [2]

3.5 Míra zhutnění asfaltové směsi

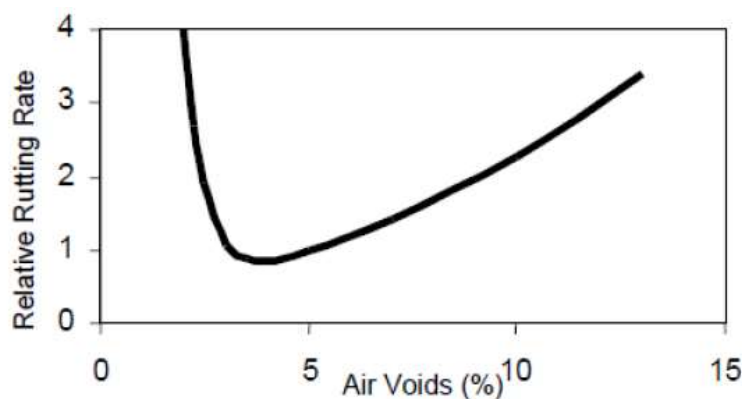
Míra zhutnění je definována v normě ČSN 73 6121. Mírou zhutnění se vyjadřuje hodnota podílu objemové hmotnosti stanovené v laboratoři a stanovené na stavbě. Mezerovitost má značný vliv na chování směsi, v případě velmi malé mezerovitosti (pod 2 %) je většina vzduchových mezer mezi zrny kameniva vyplněna asfaltovým pojivem. Asfalt má zhruba 15 x větší tepelnou roztažnost oproti kamenivu a vlivem toho se významně snižuje odolnost proti těžkému dopravnímu zatížení. Stejný dopad má i vysoká mezerovitost (nad 10 %), jak lze vidět na obrázku 4 [1].

V případě špatného zhutnění není dosaženo požadované míry zhutnění. Výsledkem je předčasný výskyt poruch, hlavně trhlin, výtluků a dochází i ve větší míře k hloubkové korozi směsi. Vrstva je také velmi náchylná na vnikání vody do konstrukce vozovky a dochází k výraznému snížení životnosti vozovky [1].

Výpočet míry zhutnění

$$MZ = \frac{\rho_{vz}}{\rho_{max}} \cdot 100$$

kde: MZ míra zhutnění [%]
 ρ_{vz} objemová hmotnost zjištěná na vzorku odebraném z hotové úpravy [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
 ρ_{max} vztažná objemová hmotnost téhož vzorku přeformovaného v laboratoři na zkušební (Marshallova) tělesa [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]



Obrázek 4 Vztah mezerovitosti a odolnosti proti zatížení [1]

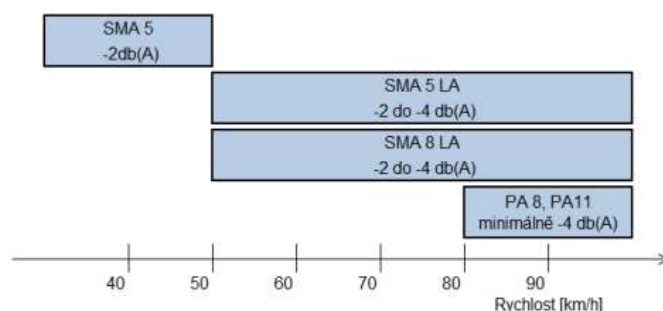
Zhutnění asfaltových směsí se provádí z důvodu optimálního uspořádání jednotlivých částí směsi tak, aby byly dosaženy požadované vlastnosti pokládané asfaltové směsi a byla zaručena odolnost proti mechanickému poškození od dopravního zatížení a odolnost proti klimatickým vlivům po celou dobu její životnosti.

Se zvětšující se velikostí míry zhutnění dochází k výrazné zvýšení pevnosti, tuhosti a životnosti samotné konstrukce. Při větší míře zhutnění také dochází k zvýšení odolnosti proti únavě.

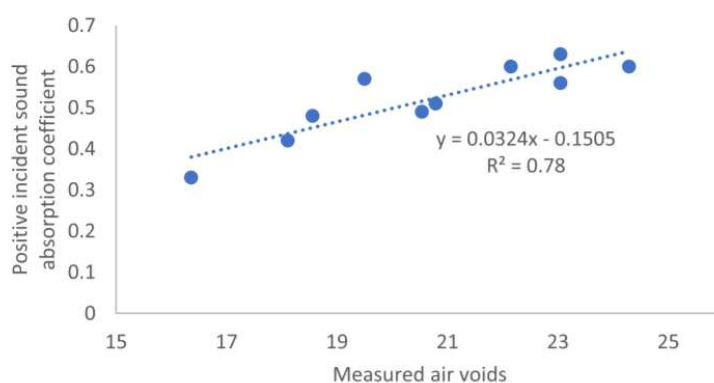
3.6 Hlukové emise

Hlukové emise od vlivu provozu na pozemních komunikacích se dají rozdělit na dva základní typy. Jedná se o hluk vnitřní, který se vyskytuje uvnitř samotného vozidla a hluk vnější, který největší měrou zatěžuje přilehlé okolí pozemní komunikace. [17]

Největší hluk vzniká na styku pneumatika / vozovka. V ČR se hodnota akustického hluku měří dvěma základními metodami. Prvním typem zkoušky je statická zkouška při průjezdu vozidla, která je ale velmi náročná na měřicí místo, aby nedocházelo k ovlivňování výsledků jinou činností. Dalším typem zkoušení je metoda malé vzdálenosti. Základním principem je umístění sady mikrofónů v blízkosti referenční pneumatiky, která je nehnaná a neovládaná. [9] [18]



Obrázek 6 Redukce hluku v závislosti na typu směsi [18]



Obrázek 5 Redukce hluku [14]

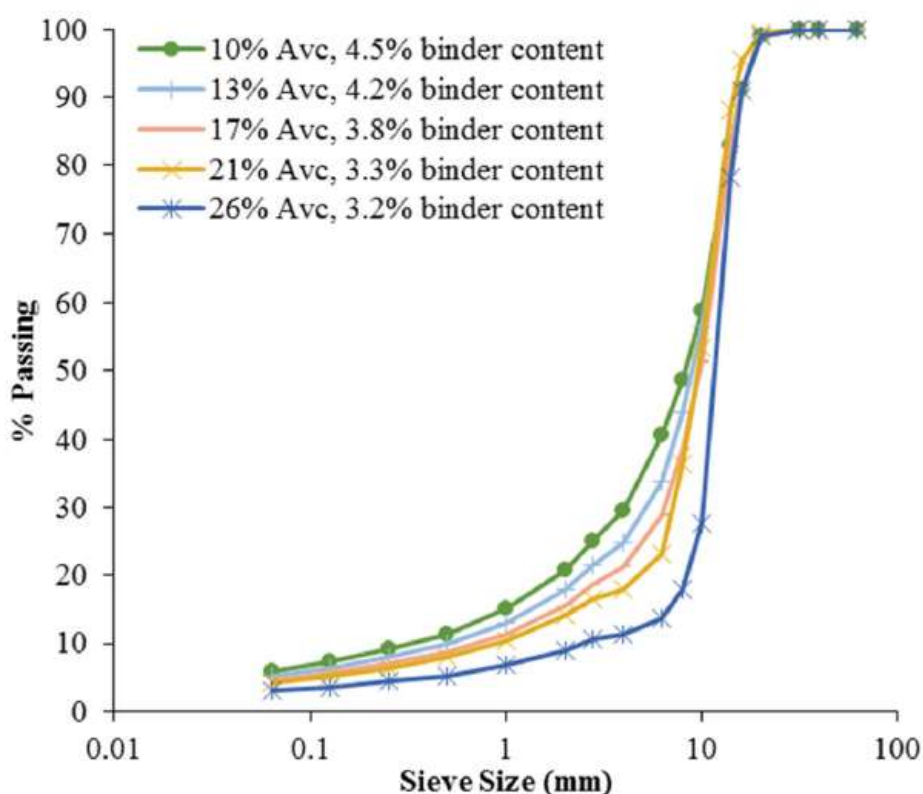
Zvýšení mezerovitosti má příznivý vliv na redukci stlačování vzduchu ve vzorku pneumatiky, čímž je dosaženo snížení hladiny akustického hluku.

Porovnání směsí a jejich snížení hladiny hluku je zobrazeno na obrázku č. 5. Dalším vlivem vyšší mezerovitosti je zvýšení pohltivosti zvukové energie, což lze pozorovat na obrázku č.6. [15], [14]

3.7 Hydraulická vodivost

Odvod vody z povrchu pozemní komunikace je jedním z nejdůležitějších požadavků na asfaltové směsi obecně. Asfaltová směs s vysokou mezerovitostí kladně ovlivňuje odvod vody, kdy snižuje odvod vody po povrchu konstrukce vozovky a významně zvyšuje bezpečnost provozu na pozemních komunikacích.

Z důvodu většího množství odvodu vody přes samotnou tloušťku asfaltové směsi dochází k jejímu zachytávání v konstrukci a v důsledku toho může docházet k poškozování vazeb mezi jednotlivými zrny. Hydraulická vodivost se uvádí jako kapacita odvodu vody přes průřez asfaltové směsi za předpokladu laminárního proudění. Odtok vody v příčném směru je velmi rozdílný oproti odtoku v podélném směru, lze porovnat na grafu č. 1, kde je porovnání směsí s různou pórovitostí. [3]



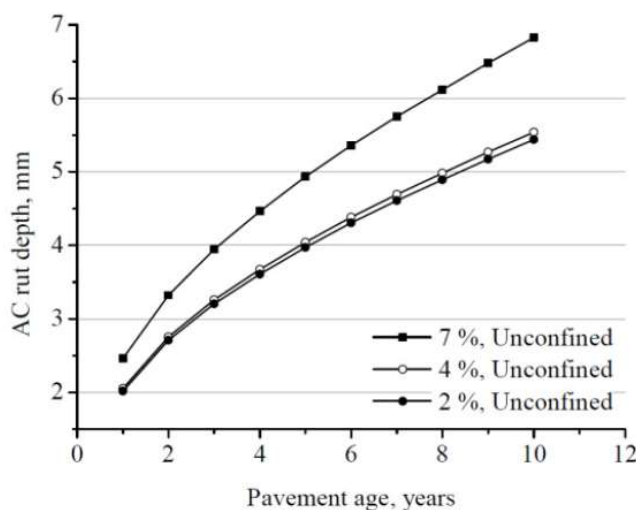
Graf 1 Propustnost [3]

3.8 Stabilita

Stabilitu asfaltové směsi lze definovat jako odolnost asfaltové směsi proti deformaci při vystavení dopravnímu zatížení při různých okolních podmínkách. Lze říci, že pokud je asfaltová směs stabilní, udržuje si svůj tvar a povrchové vlastnosti. Obecně se stabilita asfaltové směsi zvyšuje se snižováním obsahu vzduchových mezer (snížené mezerovitosti). Lze konstatovat, že pokud se mezerovitost sníží již o 1 %, asfaltová směs dosahuje zvýšení stability o 5 a více stabilitních bodů [4].

3.9 Odolnost proti tvorbě trvalých deformací

Procentuální zastoupení vzduchových mezer ovlivňuje odolnost směsi proti vyjíždění kolejí od dopravního zatížení. Další vliv, který ovlivňuje hloubku vyjetých kolejí, a který přímo souvisí s velikostí mezerovitosti je stáří samotné asfaltové směsi. Rozdíly v hloubce vyjetých kolejí v závislosti na hodnotách mezerovitosti asfaltových směsí lze vidět na obrázku č. 7. Z obrázku vyplívá, že k největší tvorbě trvalých deformací dochází u směsi s mezerovitostí 7 %. U směsí s mezerovitostí 2 % a 4 % je rozdíl v tvorbě trvalých deformací téměř stejný.



Obrázek 7 Odolnost v závislosti na počtu mezer [6]

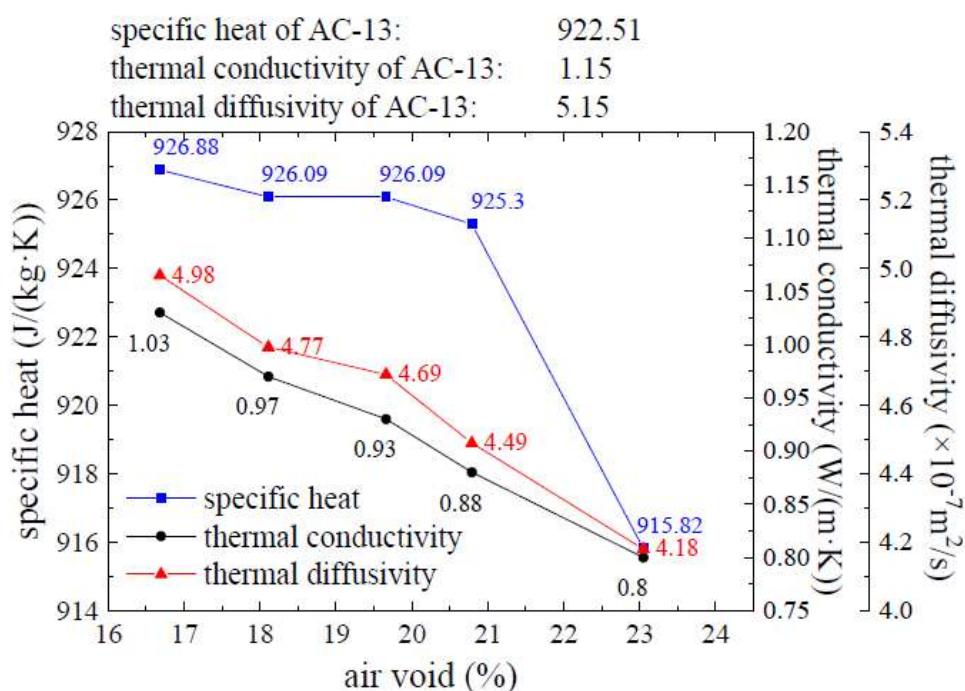
3.10 Protismykové vlastnosti asfaltové směsi

Protismykové vlastnosti krytu (asfaltové směsi) patří mezi základní parametry asfaltového krytu vozovky, které slouží k bezpečnému a funkčnímu provozu na pozemních komunikacích. Nejdůležitější jsou v místech častého a náhlého zpomalování či zrychlování, především křižovatky, přechody, stoupání / klesání, a i ve směrových obloucích, kde jsou značné boční síly působící na vozidlo.

Jedním z nositelů protismykových vlastností je mikrotextura povrchu, což je odchylka vozovky od rovinného povrchu ideálního tělesa, je menší než 0,5 mm. Makrotextura je odchylka od rovinného povrchu 5 mm - 50 mm. S různou mezerovitostí asfaltové směsi dochází k vytvoření různé makrotextury asfaltové směsi. S velikostí makrotextury přímo souvisí schopnost odvodu vody z povrchu vozovky. V případě velmi nízké mezerovitosti a z toho plynoucí malé hodnoty makrotextury dochází ke špatnému odvodu vody z povrchu a zvyšuje se riziko aquaplaningu. Aquaplaning je ztráta adheze pneumatiky a vozovky, v důsledku „vodního polštáře“ pod kolem. Vlivem větší mezerovitosti dochází, také k redukci tvorby vodní mlhy, vytvořené za vozidlem. Nejčastěji je tento jev viditelný na dálnicích a komunikacích s větší intenzitou dopravy. [10] Při porovnání běžné asfaltové směsi a drenážního koberce lze vidět, že dochází ke snížení počtu nehod z důvodu lepších protismykových vlastností a lepšímu odvodu vody. [16]

3.11 Ochlazovací efekt

Asfaltové směsi s vyšší mezerovitostí, především drenážní asfalty mají větší schopnost odolat sluneční energii. V důsledku toho nedochází k rychlé degradaci asfaltového pojiva. Ovšem v důsledku zvýšené mezerovitosti dochází k většímu přístupu vzduchu k asfaltem obalenému kamenivu a dochází ke stárnutí asfaltového pojiva. Asfaltové směsi jsou teplotně citlivé materiály a dochází ke ztrátě vlastností vlivem teploty. Vlivem teploty dochází ke stárnutí asfaltového pojiva, snižuje se únavová pevnost a s tím i samotná životnost asfaltového krytu vozovky. Směsi s větší mezerovitostí mají schopnost redukovat vnitřní teplotu směsi, díky velkému množství vzduchových mezer. Rozdíly mezi směsmi s různou mezerovitostí lze vidět na obrázku č. 8. [11] [12]



Obrázek 8 Ochlazovací efekt

3.12 Chování směsi v zimním období

Obecné přesvědčení je, že tyto směsi jsou velmi náchylné na účinky mrazu. Pokud drenážní směsi dobře fungují, nevyžadují v zimním období zvláštní péči. V případě námrazy mají tyto směsi stejné chování jako běžné asfaltové směsi, ale je nutno sledovat stav námrazy a popřípadě rozprostřít posypovou sůl. Pokud je drenážní směs znečištěna, může docházet oproti standardním směsím při menším dopravním zatížení ke snížení tření povrchu vozovky. Pokud dojde ke zmrznutí mlhy, dochází ke snížení tření ve větší míře. Jedním z dalších rozdílů oproti standardním směsím je, že po rozmrznutí nedochází k úplnému odplavení zrn soli a usazují se v pórech drenážní směsi. Vlivem dalšího provozu dochází k vystoupaní těchto zrn k povrchu a jejich rozpuštěním se zlepšují protismykové vlastnosti směsi. Ale díky tomu vzniká problém s tvorbou agresivního solného roztoku, který poškozuje spojení samotné směsi.

Vlivem ochlazovacího efektu drenážních směsí dochází v zimním období k rychlejší tvorbě sněhové pokrývky na povrchu silnice. Je nutné zajištění odklízení sněhu jinak dochází k dostávání vody do póru směsi a opětovným zmrznutím se snižuje její odolnost a trvanlivost.

[25]



Obrázek 9 Porovnání drenážní směsi a běžného asfaltu [25]

3.13 Odolnost proti požáru

Největším problémem silničních tunelů je jejich požární odolnost a s tím související odolnost povrchu komunikace. V současné době je zakázáno používat asfaltové směsi v tunelech o délce větší jak 1 km. Této problematice se věnovali na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně. Projekt se věnoval porovnání směsí o různé mezerovitosti. Testování asfaltových směsí bylo rozděleno na 3 části. Model reálného požáru vozidla, kdy bylo nutné stanovit reálné pole teplot v okolí hořícího objektu. V průběhu byly také měřeny teploty v různých hloubkách vrstev. Dále to byl model tepelného zdroje na povrchu asfaltové směsi. Posledním modelem byla zkouška hořlavé kapaliny na povrchu asfaltové směsi. Byly použity tři typy směsí, a to asfaltový beton pro obrusné vrstvy ACO 11+, asfaltový koberec mastixový SMA 11 a asfaltový koberec drenážní PA 8. Směsi byly použity jako obrusné vrstvy. Na každý povrch bylo rozlito a zapáleno 10 l benzínu. Jak lze vidět na obrázku XY, nejmenší hoření bylo dosaženo na směsi PA 8. Ze závěrů projektu vyplynulo, že mezerovitost asfaltové směsi může mít významný vliv na chování a průběh požáru. Ukázalo se, že právě větší mezerovitost pomohla pohltit hořlavou kapalinu a tím došlo k významnému snížení hoření. Je však nutné, aby byla obrusná drenážní vrstva vždy řádně odvodněna a hořlavé kapaliny byly zachyceny. Mezerovitost asfaltových směsí významně ovlivňuje její měknutí. Vlivem zahřátí dochází u směsí s malou mezerovitostí

ke zvětšení objemu, vlivem toho dochází ke snižování odolnosti proti zatížení tlakem. [26] Na obrázku 13 je zachycena zkouška, kde bylo na vzorek PA 8 působeno po dobu 30 minut vysokými teplotami (cca 850 °C) a následně byla provedena zkouška odolnosti vůči zatížení tlakem. Autoři uvádějí, že nedošlo k výraznému snížení odolnosti vůči zatlačení. [26]



Obrázek 11 Požár rozlitých hořlavých kapalin na površích z různých směsí [26]



Obrázek 10 Zkušební vzorek během zkoušky [26]

4 Praktická část-použité asfaltové směsi

4.1 Materiály

4.1.1 Kamenivo

Pro účely bakalářské práce byly použity kameniva frakce 0/4 a 4/8 z lomu Luleč. Dále byla použita vápencová moučka. Všechny materiály byly odebrány na obalovně v Rajhradcích. Použité materiály lze vidět na obr. 13 a 14.



Obrázek 12 Frakce 0/4



Obrázek 13 Frakce 4/8

4.1.2 Asfalty

Do asfaltových směsí byly použity tyto modifikované asfalty:

- Polymerem modifikovaný asfalt PmB 25/55-65 pro směs PA 8
- Polymerem modifikovaný asfalt PmB 25/55-60 pro směs SMA NH

4.1.3 Celulózová vlákna

Do směsi SMA NH byla použita celulózová vlákna proti zabránění stékavosti asfaltového pojiva z kameniva. Celulózová vlákna jsou vidět na obrázku č. 15.



Obrázek 14 Celulózová vlákna

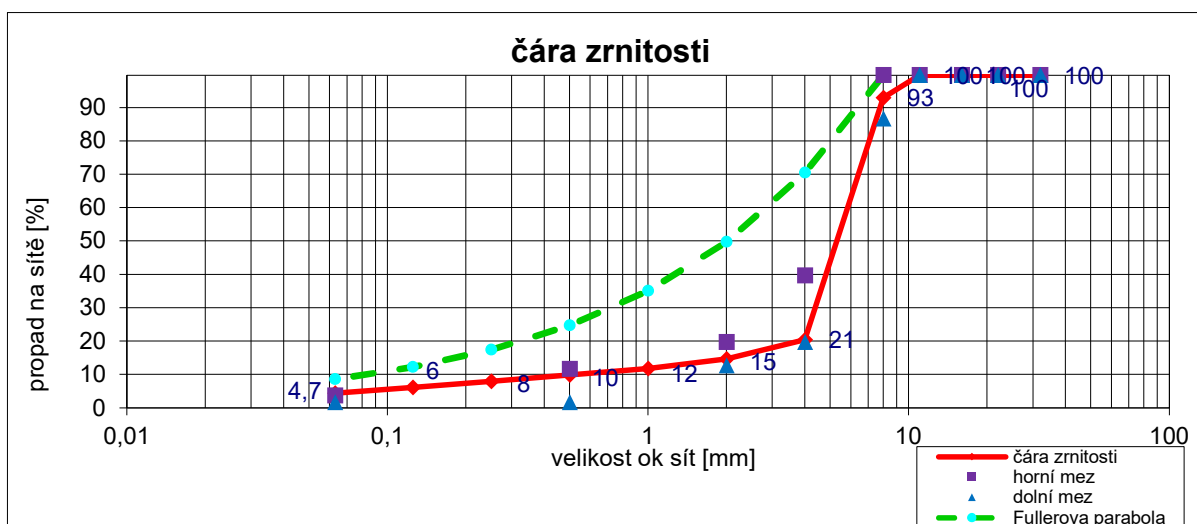
4.2 Návrh asfaltových směsí

V praktické části byly navrženy a použity dvě asfaltové směsi s vyšší mezerovitostí a to:

- Asfaltový koberec drenážní PA 8, s vysokou mezerovitostí
- Asfaltový koberec mastixový SMA NH, se zvýšenou mezerovitostí

4.2.1 Směs PA 8

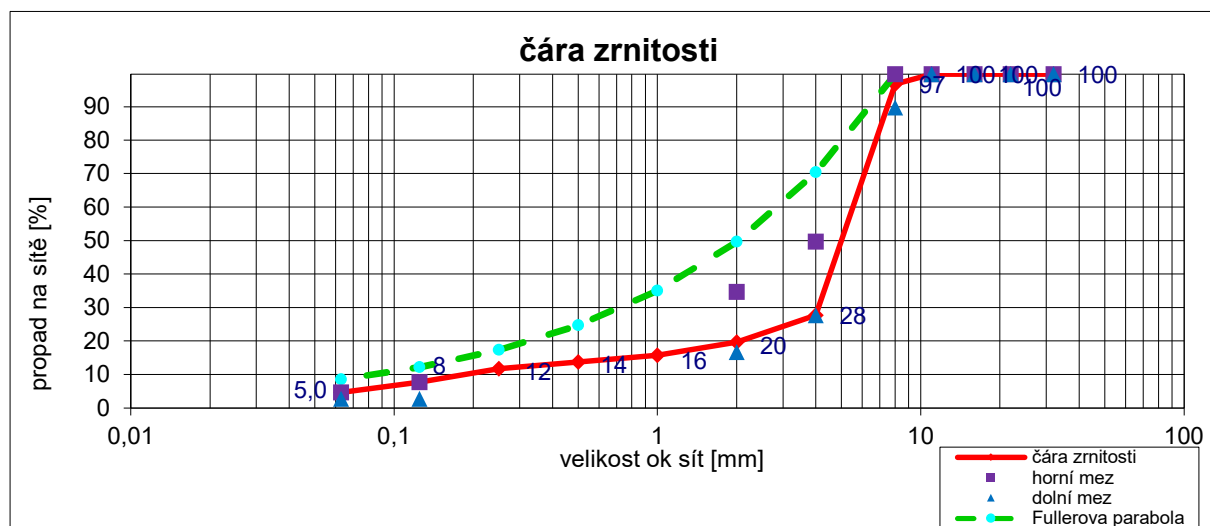
Cílem bylo, aby se asfaltová směs, pokud možno co nejvíce přiblížila směsi, která byla použita v rámci projektu TA ČR „Asfalty v silničních tunelech“. V rámci toho projektu byly prováděny zkoušky na drenážní směsi, jejíž mezerovitost byla kolem 20 %. Návrh směsi byl vytvořen tak, aby splňoval požadavek na dolní a horní mez pro směsi PA 8 dle ČSN 73 6121 [13]. Asfaltová směs PA 8 se skládala ze 3 základních frakcí kameniva.: frakce 4/8, frakce 0/4 a vápencové moučky. Čára zrnitosti směsi je přerušená, jak je vidět na obrázku 16. Obsah asfaltového pojiva ve směsi je 5,70 %. Mezerovitost asfaltové směsi je 24 %.



Obrázek 15 Čára zrnitosti směsi PA 8

4.2.2 Směs SMA NH

Návrh směsi byl proveden podle diplomové práce Ing. Martina Řehulky [33], kde se zabýval mastixovým kobercem. Cílem bylo, aby se čára zrnitosti co nejvíce blížila, k čáře zrnitosti jím navrhnoutou. Kamenivo ve druhé použité směsi SMA NH se skládá z frakcí 4/8, 0/4, filleru a byla přidána celulózová vlákna pro zlepšení přilnavosti. Čára zrnitosti je vidět na obrázku 17. Obsah pojiva v asfaltové směsi je 6,4 %. Mezerovitost asfaltové směsi je 12 %.



Obrázek 16 Čára zrnitosti směsi SMA NH

Postup míchání byl pro obě asfaltové směsi shodný, pouze u směsi SMA NH se přidávala celulózová vlákna, která se přidala pro lepší přilnavost asfaltu ke kamenivu.

Prvním krokem bylo vysušení kameniva při 120 °C v laboratorní sušárně. Poté se navážilo dané množství frakcí kameniva dle procentuálního zastoupení v jednotlivých směsích podle čáry zrnitosti. Kamenivo a asfaltové pojivo se muselo dát nahřát do sušárny na teplotu míchání, která byla stanovena na 160 °C.

Pro míchání asfaltové směsi byla použita nová míchačka BITUMIX, která se nachází v silniční laboratoři na Ústavu pozemních komunikací na FAST VUT v Brně. Byly zde připraveny obě asfaltové směsi.

Připravené předehráté navážky kamenivo se vsypalo do laboratorní míchačky vyhřáté na 160 °C a nechalo se chvíli promíchat nasucho. Dalším krokem bylo přidání asfaltového modifikovaného pojiva přesného množství. Přesná množství jsou uvedena v příloze. Míchá se do té doby, dokud nejsou všechna zrna kameniva důkladně obaleny asfaltovým pojivem.



Obrázek 17 Laboratorní míchačka BITUMIX



Obrázek 18 Asfaltová směs v míchačce



Obrázek 19 Připravená asfaltová směs SMA NH

5 Praktická část-zkušební metody

5.1 Výroba Marshallových těles

Výroba zkušebních těles byla provedena podle normy ČSN EN 12 697 – 30+A1 Asfaltové směsi- Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. Po namíchání asfaltových směsí se naváží stanovené množství do ocelových misek. Pro výrobu zkušebních těles tvaru válce (Marshallova tělesa) je nutné směs nahřát na teplotu hutnění v mém případě stanovenou na 155 °C, zároveň se do pece dají nahřát formy pro výrobu zkušebních těles. Marshallova tělesa byla pro stanovení objemové hmotnosti po 50 úderech z každé strany. Dále byla zhotovena tělesa pro účely samotných zkoušek odolnosti vůči vodě, mrazu a soli. Tato tělesa se hutnila 25 údery z každé strany. Navážky pro jednotlivá tělesa byla stanovena, tak aby výsledná tělesa měla stejnou výšku 63,5 mm +/- 2,5 mm.



Obrázek 21 Marshallův rázový zhutňovač



Obrázek 20 Díly forem

5.2 Stanovení maximální objemové hmotnosti dle ČSN EN 12697-5 [31]

Byla použita metoda A, pomocí pyknometru. Maximální objemová hmotnost je hmotnost připadající na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer dané zkušební teplotě. Pro stanovení byla použita Postup A: Volumetrický postup dle normy ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi- Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. Přesný postup je popsán v uvedené normě, zde uvedu pouze stručný výtah. Základními měřenými parametry jsou: hmotnost pyknometru, hmotnost pyknometru s asfaltovou směsí a hmotnost pyknometru s asfaltovou směsí zalitou vodou nebo rozpouštědlem. Maximální objemová hmotnost se vypočte dle vzorce: [24]

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \cdot \left(V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_w} \right)}, \text{ kde}$$

- m_1 hmotnost pyknometru v g,
- m_2 hmotnost pyknometru a navážky v g,
- m_3 hmotnost pyknometru, navážky a rozpouštědla v g,
- V_p objem pyknometru v m^3 ,
- ρ_w hustota rozpouštědla při zkušební teplotě v kg/m^3 .



Obrázek 22 Lázeň s pyknometry pro stanovení maximální objemové hmotnosti [30]

5.3 Odolnost proti vodě, mrazu a soli

5.3.1 Stanovení odolnosti proti vodě ITS_R

Jedná se o stanovení poměru pevností v příčném tahu stanovené na dvou sadách s minimálně třemi zkušebními tělesy tvaru válce. Jedna sada je temperována na vzduchu a druhá sadě je udržována ve vodní lázni. Předepsaná zkušební teplota je 25 °C ± 2 °C.

Příprava mokrých vzorků začíná vložením do vakuové komory, kde se postupně snižuje tlak na 6,7 kPa, kterého se musí dosáhnout za 10+1 min. Tento tlak se udržuje po dobu 30 min ± 5. Po uplynutí tohoto času se sada těles vloží do vodní lázně s možností temperování na 72 h. [norma odolnost vůči vodě].

Sada suchých těles se nechá na vzduchu při teplotě 25 °C ± 2 °C. Poté byly sady suchých a mokrých těles temperovány na zkušební teplotu 15 °C po dobu 2 hod. Po uplynutí potřebné doby dochází k samotnému zmáčknutí těles v lisu a vypočtení pevnosti v příčném tahu

$$ITS_R = 100 * \frac{ITS_w}{ITS_d}, \text{ kde}$$

ITS_R poměr pevnosti v příčném tahu v %,

ITS_w průměrná pevnost v příčném tahu skupiny mokrých zkušebních těles v kPa,

ITS_d průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých zkušebních těles v kPa.

mokrého a suchého tělesa a následném výpočtu odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě podle vzorce: [24]



Obrázek 24 Sada mokrých těles před ponořením



Obrázek 23 Vakuová komora

5.3.2 Stanovení odolnosti asfaltových směsí vůči mrazu

Odolnost byla stanovena na dvou sadách těles od každé směsi. 1 sada těles byla vystavena 1 cyklu (zmrazení/rozmrazení). Teplota v mrazícím zařízení byla - 18 °C, teplota v místnosti, kde probíhalo rozmrazování byla 20 °C. Na tělesech byla následně stanovena pevnost v příčném tahu ITS a následně poměr pevností ITS_R. Pro stanovení zkušební metodiky se vycházelo z americké normy ASHTOO T283. Bohužel tato norma se věnuje směsím s mezerovitostí 6,5 % a 7,5 %. Tělesa jsou umístěna do vodní lázně, kde se vakují a jsou satureovány vodou. Poté se umístí do plastových pytlů s obsahem vody 10 ml +/- 0,5 ml a jsou vystaveny účinkům mrazu. Vzhledem k mezerovitosti mnoha zkoušených směsí (cca. 10 % a 20 %) bylo nutno tuto metodiku modifikovat. Použili se plastové kelímky o větším průměru o zhruba 0,5 cm, než jsou zkušební tělesa.

Zkušební tělesa byla poté zalita vodou a umístěna do vakuovací komory. V důsledku nenadále situace uzavření univerzity a vyhlášení nouzového stavu bylo dále po dohodě s vedoucím bakalářské práce upuštěno. Zkoušky byly proto provedeny v domácích podmínkách a bez vakuování. Mrazící zařízení udržovalo stálou teplotu -18 °C. Rozmrazování probíhalo v místnosti se stálou teplotou +19 °C. Vystavení účinkům mrazu probíhalo na dvou sadách těles od každé směsi s rozdílným počtem cyklů, a to:

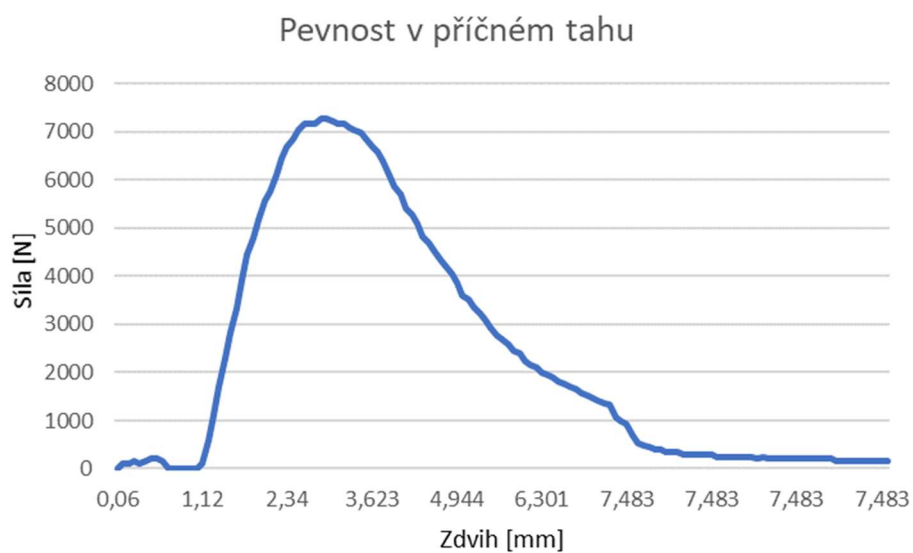
- 1 mrazový cyklus,
- 10 mrazových cyklů.

Harmonogram cyklů je uveden v příloze č X. Následně byla stanovena pevnost v příčném tahu ITS a porovnána se sadou suchých těles.

5.3.3 Stanovení odolnosti asfaltových směsí vůči kombinaci působení mrazu a soli.

Tato zkouška byla provedena z důvodu simulace reálných podmínek v zimním období, kdy může docházet k solení vozovky a zároveň i zamrzání vody na povrchu vozovky. Metodika byla shodná s bodem 5.3.2. Bylo provedeno opět 10 mrazových cyklů, navíc byla ještě přidána posypová sůl. Množství posypové soli na plochu 1 marshallova tělesa byla stanovena podle Rozhodovacího diagramu dispečera, který je používán na silnicích spravovaných ŘSD. Diagram je uveden v příloze. Množství bylo stanoveno: 1 g na 1 marshallovo těleso. Pro vytvoření nejhorších možných podmínek se brala z největší hodnoty používané na komunikacích.

Průběh zatěžování těles při zkoušce ITSR je vidět na grafu 2. Průběhy od jednotlivých těles budou uvedeny v přílohách.



Graf 2 Průběh zatěžování při zkoušce ITSR



Obrázek 25 Zkušební list pro stanovení ITSR

6 Praktická část-výsledky

Tato část práce obsahuje výsledky zkoušek odolnosti proti vodě, mrazu a soli. Ze směsí PA 8 i SMA NH byla vytvořeno 5 sad po 3 tělesech. 3 tělesa suchá, 3 mokrá, 3 pro 1 mrazový cyklus, 3 pro 10 mrazových cyklů a 3 tělesa pro 10 mrazových cyklů s přidáním posypové soli.

6.1 Směs PA 8

6.1.1 Vyrobená zkušební tělesa

V této kapitole jsou uvedeny výsledné rozměry zkušebních těles a jejich objemové hmotnosti. Všechny hodnoty jsou uvedeny v tabulce č.1. Maximální objemová hmotnost drenážní směsi je uvedena v tabulce č.2

Tabulka 1 Maximální objemová hmotnost a mezerovitost směsi PA 8

Maximální objemová hmotnost [kg/m ³]	
M ₁ [g]	693
M ₂ [g]	1746,5
M ₃ [g]	2639,2
V [m ³]	1323,408
ρ [kg/m ³]	1845
P _{max} [kg/m ³]	2410
V _m [%]	22,9

Z tabulky č. 1 je vidět, že mezerovitost směsi PA 8 je 22,9 %. Mezní hodnoty drenážních asfaltů jsou 14 % do 32 %. Mezerovitost navržené směsi je v mezích pro danou směs.

V tabulce č. 2 je přímé srovnání rozměru zkušebních těles a jejich objemových hmotností. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou objemové hmotnosti je rozdíl 49 kg/m³.

Tabulka 2 Rozměry a objemové hmotnosti zkušebních těles

PA 8	Výška [mm]	Průměr [mm]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
1	68,73	101,15	1862
2	65,32	101,13	1850
3	68,28	101,57	1847
4	66,00	101,83	1857
5	63,73	101,77	1818
6	63,67	101,70	1867
7	64,07	101,67	1862
8	64,33	101,90	1831
9	65,07	101,72	1835
10	64,90	101,10	1847
11	64,23	101,73	1842
12	63,93	101,50	1868
13	64,97	101,37	1832
14	63,53	101,83	1832
15	65,43	101,33	1821

6.1.2 Odolnost proti účinkům vody, mrazu a soli

Hodnoty ze zkoušky proti odolnosti vodě ITSR byly zpracovány do grafů. Hodnoty maximálních sil jednotlivých těles jsou uvedeny v příloze. Hodnoty v příčném tahu byly zprůměrovány a vypočteny hodnoty poměrů v příčném tahu ITSR, což lze vidět v tabulce 3. Z výsledků byly vytvořeny grafy č. 4 a 5 pro vizualizaci poklesu hodnot mezi sadami těles vystavených rozdílným účinkům.

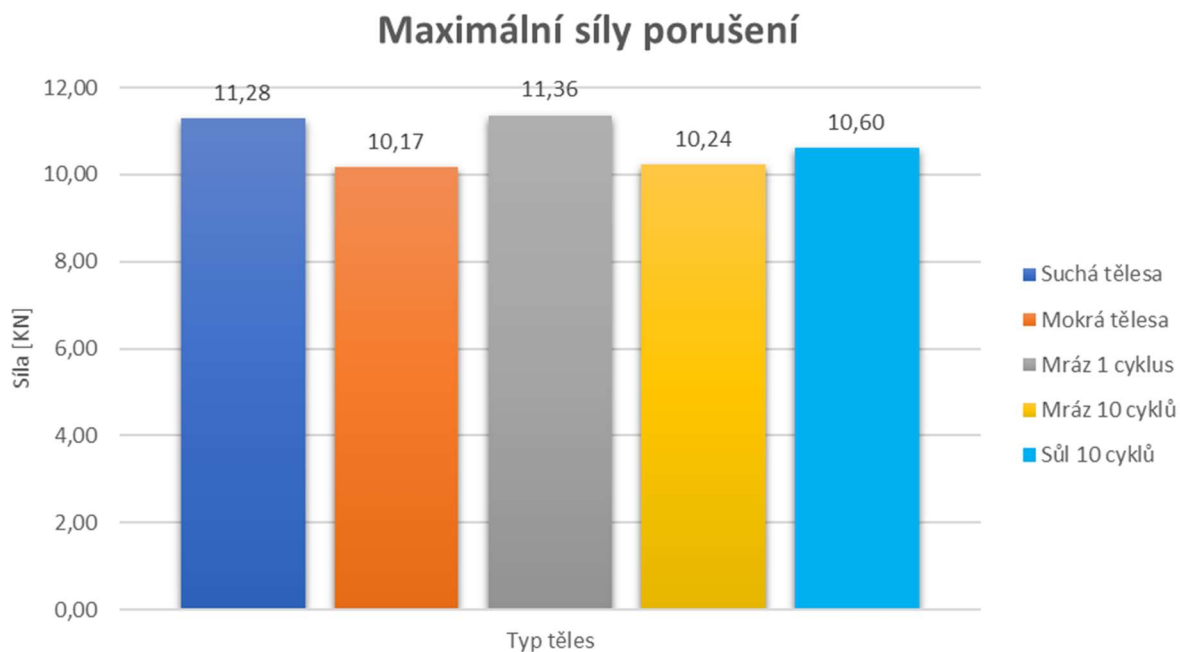


Obrázek 26 Tělesa vystavená účinkům mrazu a soli

Tabulka 3 Výsledky zkoušek ITSR a modifikované ITSR PA8

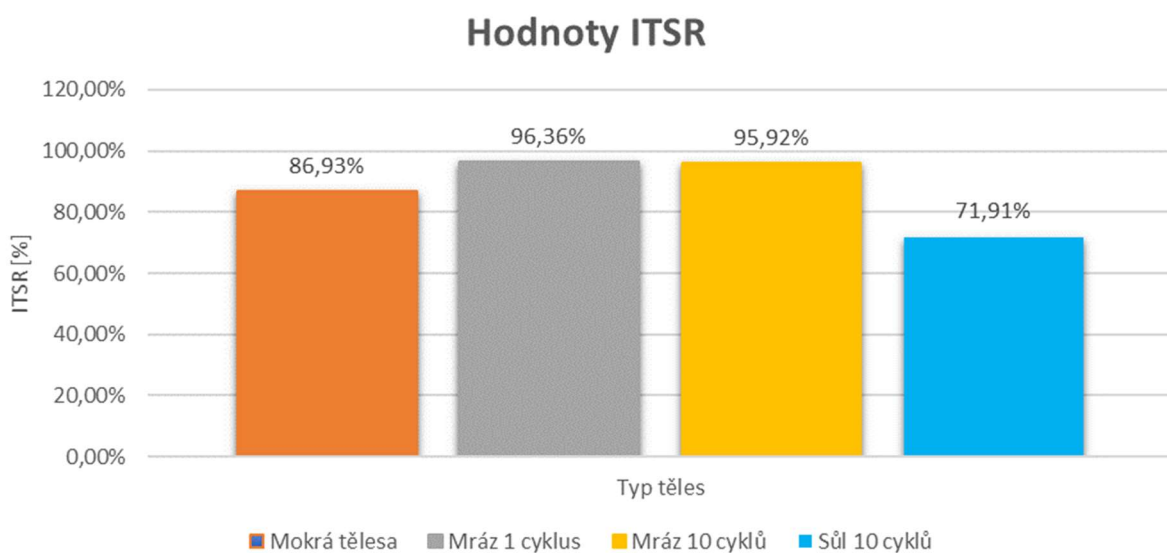
	Značení těles	Síla [kN]	Ø [kN]	Pevnost [MPa]	ITSR [%]	Pokles poměru [%]
sucho	2	7,28		0,926		
	4	7,32	7,60	0,932		
	12	8,20		1,044		
voda	1	5,91		0,752		
	6	6,88	6,61	0,875	86,93 %	13,07 %
	7	7,03		0,895		
mráz 1	8	6,98		0,888		
	9	7,37	7,32	0,938	96,36 %	3,64 %
	10	7,62		0,970		
mráz 10	3	7,23		0,920		
	5	6,93	7,29	0,882	95,92 %	4,08 %
	11	7,71		0,981		
sůl 10	13	4,88		621,34		
	14	9,13	5,46	1162,47	71,91 %	28,09 %
	15	6,05		770,31		

V tabulce č. 3 jsou vypsány hodnoty pevností zkušebních těles a hodnoty zkoušky ITSR. Z naměřených dat je zřejmé, že největší pokles je u těles vystavených 10 cyklům mrazu s přidáním soli. Hodnota poměru pevností ITSR se snížila o 28,09 %, což je oproti mému předpokladu 40 %, výrazně méně. U těles vystavených pouze mrazu, je úbytek v jednotkách procent, tudíž samotný mráz nemá velký vliv na vlastnosti samotné směsi.



Graf 3 Maximální síly v příčném tahu při porušení směsi PA 8

Na grafu č. 3, je grafické znázornění poklesu sil při porušení těles v příčném tahu. Graf č. 4 graficky znázorňuje poklesy hodnot ITSR pro směs PA 8.



Graf 4 Hodnoty ITSR směsi PA 8

6.2 Směs SMA NH

6.2.1 Vyrobená zkušební tělesa

Tato část popisuje rozměry a objemové hmotnosti zkušebních těles směsi SMA NH. Hodnoty mezerovitosti a maximální objemové hmotnosti jsou uvedeny v tabulce č.4. V tabulce č. 5 je přímé srovnání rozměru zkušebních těles a jejich objemových hmotností. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou objemové hmotnosti je rozdíl 130 kg/m^3 .

Tabulka 4 Maximální objemová hmotnost a mezerovitost směsi SMA NH

Maximální objemová hmotnost [kg/m^3]	
M_1 [g]	703,3
M_2 [g]	1506,5
M_3 [g]	3106,7
V [m^3]	1320,6
ρ [kg/m^3]	1970
P_{\max} [kg/m^3]	2199,87
V_m [%]	10,4

Tabulka 5 Rozměry a objemové hmotnosti zkušebních těles

SMA NH	Výška [mm]	Průměr [mm]	Objemová hmotnost [kg/m^3]
1	64,20	101,17	2051
2	63,53	101,23	2035
3	64,57	101,37	2019
4	64,77	101,73	1981
5	63,23	100,93	2023
6	64,93	101,33	1926
7	63,97	101,60	1968
8	64,47	101,90	1943
9	65,00	101,77	1936
10	63,57	101,90	1964
11	64,83	101,90	1920
12	63,97	101,70	1949
13	63,83	101,23	1971
14	64,13	101,37	1940
15	64,87	101,37	1934

6.2.2 Odolnosti proti účinnům vody, mrazu a soli

Hodnoty v tabulce č.5 zobrazují hodnoty ITSR, pevnosti a poklesů hodnot ITSR. Byly zpracovány stejným postupem jako v tabulce 3. u směsi PA 8

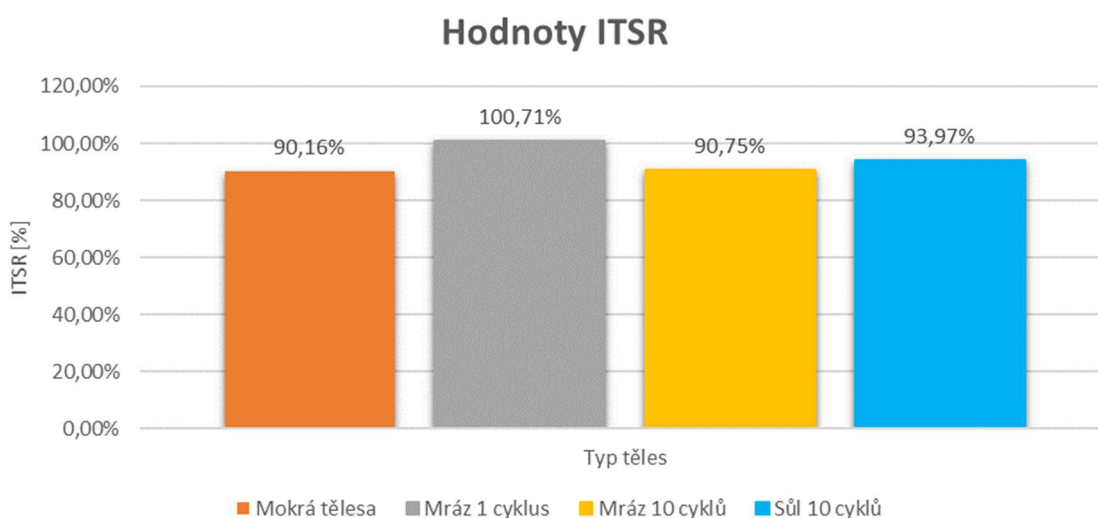
Tabulka 6 Výsledky zkoušek ITSR a modifikované ITSR

	Značení těles	Síla [kN]	Ø [kN]	Pevnost [MPa]	ITSR	Pokles poměru [%]
sucho	8	11,43		1,455		
	12	10,25	11,28	1,305		
	13	12,16		1,547		
voda	1	9,86		1,255		
	4	9,96	10,17	1,268	90,16 %	9,84 %
	7	10,69		1,361		
mráz 1	9	11,62		1,479		
	10	11,52	11,36	1,466	100,71 %	-0,71 %
	11	10,94		1,392		
mráz 10	3	10,94		1,392		
	5	9,42	10,24	1,199	90,75 %	9,25 %
	6	10,35		1,317		
sůl 10	2	13,23		1,684		
	14	10,16	10,60	1,293	93,97 %	6,03 %
	15	11,04		1,405		

V grafu č. 5 jsou znázorněny hodnoty maximálních při porušení zkušebních těles v příčném tahu. K největšímu poklesu došlo u mokrých těles, a to o zhruba 1 kN. U těles vystavených pouze 1 mrazovému cyklu je dokonce nepatrné zvýšení maximální síly při porušení. Tento rozdíl mohl vzniknout nehomogenitou asfaltové směsi, a lze konstatovat že 1 mrazový cyklus nemá téměř žádný vliv. U těles vystavených mrazovým cyklům s přidáním soli došlo ke snížení pevnosti pouze o 0,88 kN. Sůl neměla u této směsi výrazný vliv na únosnost zkušebních těles. V grafu č. 6 jsou vidět poklesy hodnot ITSR, kde došlo k podobnému stavu jako u hodnot maximálních sil při porušení.



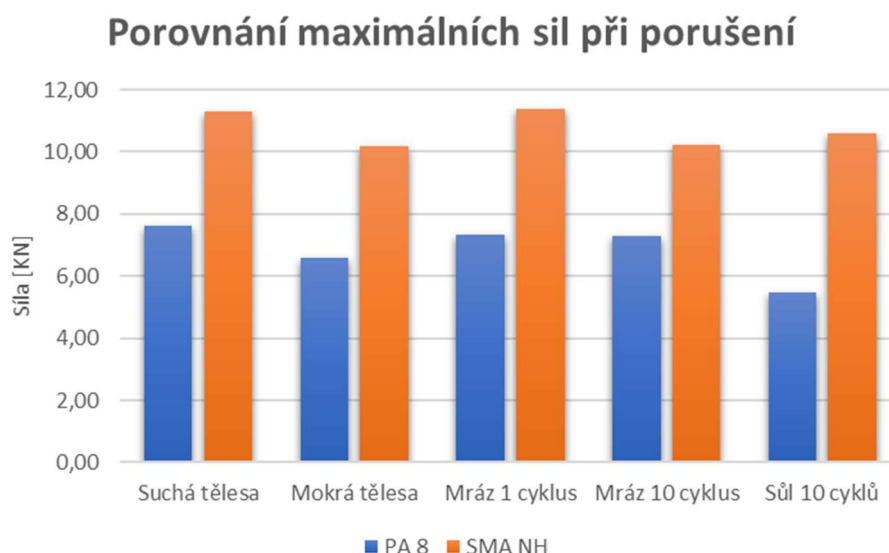
Graf 5 Maximální síly při porušení v příčném tahu směsi SMA NH



Graf 6 Hodnoty ITSR směsi SMA NH

7 Shrnutí výsledků

Celkové porovnání směsí bylo zpracováno do grafu č. 7, kde jsou zřetelně vidět jak maximální síly porušení u jednotlivými směsmi, tak i poklesy těchto sil v návaznosti na účinky u jednotlivých sad těles. Hodnoty ITSR a pevností v příčném tahu jsou porovnány v tabulce 7.



Graf 7 Srovnání směsí PA 8 x SMA NH

Tabulka 7 Porovnání sil při porušení

	PA 8		SMA NH	
	ITSR [%]	Pevnost [MPa]	ITSR [%]	Pevnost [MPa]
Suchá tělesa		0,967		1,436
Mokrā tělesa	86,93 %	0,841	90,16 %	1,294
Mráz 1 cyklus	96,36 %	0,932	100,71 %	1,446
Mráz 10 cyklů	95,92 %	0,928	90,75 %	1,303
Sůl 10 cyklů	71,91 %	0,851	93,97 %	1,461

Z výše uvedených výsledku je jasně vidět, že poklesy pevností a hodnot ITSR vlivem mrazových cyklů u obou směsí velmi malý. U těles směsí PA 8 vystaveným účinkům mrazu a soli, je vidět výrazný pokles hodnot ITSR o 28 %. U směsí SMA NH je u těles vystavených účinkům mrazu a soli pokles hodnot minimální. Naopak hodnoty pevností a ITSR jsou větší než u mokrých těles.

8 Závěr

Cílem teoretické části této bakalářské práce bylo přiblížit vliv chování rozdílných mezerovitostí na chování asfaltových směsí. Praktická část měla za cíl porovnat dvě asfaltové směsi s rozdílnou mezerovitostí, a to směs drenážní PA 8 a směs SMA NH 8.

Teoretická část se nejprve zabývá samotnou definicí mezerovitostí a jejím stanovením. Dále je popsán vliv mezerovitosti na různé vlastnosti směsi, kde bylo z velké části využito zahraničních zdrojů. Hlavním důvodem byl nedostatek informací o drenážních směsích z českých zdrojů, protože je nedostatek úseků s drenážním kobercem a také se velmi ustupuje od jejich realizace na pozemních komunikacích. Jedním z důvodů je předpoklad snížené odolnosti proti mrazu a soli.

Tímto se dostávám k praktické části této bakalářské práce. Cílem bylo porovnat dvě směsi, jednu drenážní s mezerovitostí kolem 24 % a druhou směs s mezerovitostí kolem 12 %. U každé směsi byla stanovena maximální objemová hmotnost dle normy ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti. Další zkouškou bylo stanovení poměru pevností v příčném tahu pro obě směsi dle standardních podmínek dle normy ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi-Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka-Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě. Posledním cílem praktické části bylo stanovit procentuální úbytek pevnosti v příčném tahu těles vystavených rozdílným podmínkám. 1 sada od každé směsi byla vystavena jednomu cyklu zmrazování a rozmrazování. 1 sada 10 cyklům zmrazování a rozmazování a 1 sada 10 cyklům s přidavkem posypové soli v množství stanoveného z rozhodovacího diagramu dispečere ŘSD. Výsledné hodnoty úbytků pevnosti v příčném tahu jsou pro obě směsi vidět v kapitole 2.5. Z výsledků vyplývá, že u drenážní směsi PA 8 o mezerovitosti 22,9 % dochází k úbytku pevnosti nejvýrazněji u těles vystavených 10 cyklům mrazu a soli, kde je pokles 28,09 %. V porovnání s normovými hodnotami z ČSN 73 6121 Stavba vozovek-Hutněné asfaltové vrstvy-Provádění a kontrola zásad je min. hodnota ITSR 80 % u silnic 1. a 2. třídy. Poměr pevností v příčném tahu je u nejhoršího stavu 71,91 %. Z uvedeného vyplývá, že směs PA 8 vystavených účinkům mrazu a soli nesplňuje min. požadavky dány normou.

Pro potvrzení výsledků by bylo nutné udělat další zkoušky s vyšší počtem cyklů. U směsi SMA NH 8 o mezerovitosti 10,4 % je pokles pevností v příčném tahu relativně malý a pohybuje

se u všech těles do 10 %. Min. požadované hodnoty ITSR jsou dány v normě ČSN EN 13108-7 OPRAVA 1 Asfaltové směsi-Specifikace pro materiály-Část 5: Asfaltový koberec mastixový. Při porovnání dosažených výsledků s normovými hodnotami vyplynulo, že směs splňuje tyto mezní hodnoty, kde je min. hodnota poměru ITSR 80 % (pro nejvyšší třídy dopravního zatížení). Toto splňují všechna tělesa, bez ohledu na způsobu jejich vystavení vlivům mrazu či soli. V návaznosti na zjištěné výsledky, by bylo potřeba vystavit tělesa většímu počtu cyklů a podrobit dalším zkouškám. V závěrečné tabulce č. 8 jsou přehledně srovnány jednotlivé zkušební sady a jejich hodnoty ITSR porovnány s požadovanými hodnotami v normě ČSN 73 6121 Stavba vozovek-Hutněné asfaltové vrstvy-Provádění a kontrola zásad a technickým předpisem TP 259 [32]. Jak sady mokrých těles, tak těles vystavených účinkům mrazu bez přidání soli, u obou směsí vyhověla požadavkům uvedených předpisů. Jediná sada těles vystavených kombinaci účinkům mrazu a soli u směsi PA 8 nevyhověla. Je zde o 8,09 % menší hodnota, než je požadováno. Tato sada těles však vyhověla na požadavek pro silnice s TDZ III a nižší, kde je požadavek min. ITSR jen 70 %. Toto platí, ale pouze pro směs PA 8. Bylo pro mě překvapením, že pouze u směsi PA byl výsledek ITSR ovlivněn přidáním posypové soli. Zkoušení účinku soli ovšem není dle současné legislativy požadováno a v této práci jsem se tomu věnoval jen pro porovnání reálných účinků. Naopak u směsi SMA NH nedošlo skoro k žádnému ovlivnění hodnot ITSR. Z výsledků všech zkoušek se ukázalo, že kromě těles vystavených mrazu a soli vyšel vždy účinek působení vody ITSR, který je požadován současnými předpisy hůře anebo srovnatelně s účinky působení mrazu.

Tabulka 8 Porovnání hodnot ITSR s požadovanými hodnotami dané normou

	PA 8		Posouzení dle ČSN 736121 [13]	SMA NH		Posouzení dle TP 259 [32]
	ITSR [%]	ITSR _{pož} [%]		ITSR [%]	ITSR _{pož} [%]	
Suchá tělesa						
Mokrá tělesa	86,93 %	80,00 %	Vyhovuje	90,16 %	80,00 %	Vyhovuje
Mráz 1 cyklus	96,36 %	80,00 %	Vyhovuje	100,71 %	80,00 %	Vyhovuje
Mráz 10 cyklů	95,92 %	80,00 %	Vyhovuje	90,75 %	80,00 %	Vyhovuje
Sůl 10 cyklů	71,91 %	80,00 %	Nevyhovuje	93,97 %	80,00 %	Vyhovuje

Použitá literatura

- [1] DAŠEK, Ondřej. Vliv míry zhutnění na funkční charakteristiky asfaltových směsí. Brno, 2006. Diplomová práce. VUT v Brně.
- [2] ZALTUOM, Ali Mohamed. A Review Study of The Effect of Air Voids on Asphalt Pavement Life. Proceedings of First Conference for Engineering Sciences and Technology: Vol. 2. 2018, 2018(2), 4-29. ISSN 2582-3922.
- [3] ABOUFOUL, M. a A. GARCIA. Influence of air voids characteristics on the hydraulic conductivity of asphalt mixture. Road Materials and Pavement Design [online]. 2017, 18(sup2), 39-49 [cit. 2020-05-29]. DOI: 10.1080/14680629.2017.1304256. ISSN 1468-0629. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14680629.2017.1304256>
- [4] BEBČÁK, P.; BEBČÁKOVÁ, K.; ŠPERKA, P.; KUDRNA, J.; STOKLÁSEK, S. Asfaltové vozovky v tunelech. Silnice a železnice, 2018, č. 1/2018, s. 114-116. ISSN: 1801-822X.
- [5] MA, Tao, Yao ZHANG, Deyu ZHANG, Jinhai YAN a Qin YE. Influences by air voids on fatigue life of asphalt mixture based on discrete element method. Construction and Building Materials. 2016, 126, 785-799. [cit. 2020-05-29]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.045. ISSN 09500618. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061816314854>
- [6] ROY, Neethu, A. VEERARAGAVAN, J. Murali KRISHNAN, Jinhai YAN a Qin YE. Influence of Air Voids of Hot Mix Asphalt on Rutting within the Framework of Mechanistic-empirical Pavement Design. Procedia-Social and Behavioral Sciences. 2013, 104, 99-108.[cit. 2020-05-09] DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.11.102. ISSN 18770428. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042813044935>
- [8] TANCOSHOVÁ, Nikola. Zhutňování asfaltových směsí. Praha, 2016. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
- [9] SLATINKA, Tomáš. Akusticky pohltivé asfaltové směsí. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
- [10] STRÁNSKÝ, Jakub. Protismykové vlastnosti vozovek. Brno, 2013. Bakalářská práce. VUT v Brně.

- [11] GAO, Lei, Zhanqi WANG, Jianguang XIE, Yanping LIU a Sicheng JIA. Simulation of the Cooling Effect of Porous Asphalt Pavement with Different Air Voids. *Applied Sciences*. 2019, 9(18). [cit. 2020-05-09] DOI: 10.3390/app9183659. ISSN 2076-3417. Dostupné také z: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/18/3659>
- [12] GAO, Lei, Fujian NI, Hailong LUO a Stephane CHARMOT. Characterization of air voids in cold in-place recycling mixtures using X-ray computed tomography. *Construction and Building Materials* [online]. 2015, 84, 429-436 [cit. 2020-05-29]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.081. ISSN 09500618. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815003396>
- [13] ČSN 73 6121 (736121) A Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy-Provádění a kontrola shody. Praha: Český normalizační institut, 2008. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [14] GAO, Lei, Zhanqi WANG, Jianguang XIE, Zhaoxin WANG a Hua LI. Study on the sound absorption coefficient model for porous asphalt pavements based on a CT scanning technique. *Construction and Building Materials* [online]. 2020, 230(18) [cit. 2020-05-29]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117019. ISSN 09500618. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061819324614>
- [15] BÁRTA, Bc. Jan. Nízkohlučné vozovky. Brno, 2014. Diplomová práce. VUT v Brně.
- [16] DELL'ACQUA, Gianluca, Mario DE LUCA, Raffaele MAURO a Francesca RUSSO. Freeway Crashes in Wet Weather: the Comparative Influence of Porous and Conventional Asphalt Surfacing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* [online]. 2012, 54, 618-627 [cit. 2020-05-29]. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.09.779. ISSN 18770428. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042812042413>
- [17] ISENRING, Thomas, Harold KÖSTER a Ivan SCAZZIGA. Experiences with porous asphalt in Switzerland. *TRANSPORTATION RESEARCH RECORD*. 1990, 1990(1), 41-53. ISSN 0361-1981.
- [18] KLIMEŠ, Bc. Petr. Dvouvrstvý koberec drenážní s asfaltem modifikovaným pryžovým granulátem. Brno, 2012. Diplomová práce. VUT v Brně.

- [19] "Stone Matrix Asphalt." Pavement Interactive. Accessed March 14, 2020. <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-types-and-history/pavement-types/stone-matrix-asphalt/>.
- [20] Reimo a.s., Drenážní asfalt PA 8, Praha 2009
- [21] ZAJÍČEK, Jan. Technologie stavby vozovek. Praha: ČKAIT, 2014. ISBN 978-80-87438-59-6.
- [22] http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_259_2017.pdf
- [23] ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2019. 8596135059775.
- [24] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2012. 8590963862187.
- [25] SNOW REMOVA LAND ICE CONTROL TECHNOLOGY: Winter Maintenance on Porous Asphal. Onlinepubs.trb [online]. 1996 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/conf/1996/cp16/cp16-005.pdf>
- [26] BEBČÁKOVÁ, K.; BEBČÁK, P.; ŠPERKA, P.; KUDRNA, J. Asfalty v silničních tunelech. Silniční obzor, 2018, č. 3, s. 82-84. ISSN: 0322-7154
- [27] The Structure of Porous Asphalt Pavement. In: HMA Contracting [online]. 2020 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.hmacontracting.com/news/the-structure-of-porous-asphalt-pavement/>
- [28] Pavement Interactive. Pavement Interactive [online]. 2010 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-types-and-history/pavement-types/stone-matrix-asphalt/>
- [29] Colas [online]. Praha [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.colas.cz/sluzby/obalovny/>
- [30] SPIES, Karel. ASFALTOVÁ SMĚS PRO OBRUSNÉ VRSTVY SE ZVÝŠENÝM OBSAHEM R-MATERIÁLU. Brno, 2019. Bakalářská práce. VUT v Brně.
- [31] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti, 2019.
- [32] *Technické podmínky TP 259 – Asfaltové směsi pro obrusné vrstvy*. In: . Praha, ročník 2017.
- [33] ING. ŘEHULKA, Martin. *Navrhování nízkohlučných asfaltových směsí*. Brno, 2020. Diplomová práce. VUT v Brně.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Asfaltový koberec drenážní [27]	13
Obrázek 2 Asfaltový koberec mastixový [28]	14
Obrázek 4 Vztah mezerovitosti a únavy [2]	16
Obrázek 5 Vztah mezerovitosti a odolnosti proti zatížení [1]	17
Obrázek 6 Redukce hluku [14]	18
Obrázek 7 Redukce hluku v závislosti na typu směsi [18]	18
Obrázek 8 Odolnost v závislosti na počtu mezer [6]	20
Obrázek 9 Ochlazovací efekt	22
Obrázek 10 Porovnání drenážní směsi a běžného asfaltu [25]	23
Obrázek 11 Zkušební vzorek během zkoušky [26]	24
Obrázek 12 Požár rozlitých hořlavých kapalin na površích z různých směsí [26]	24
Obrázek 13 Frakce 0/4	25
Obrázek 14 Frakce 4/8	25
Obrázek 15 Celulózová vlákna	26
Obrázek 16 Čára zrnitosti směsi PA 8	27
Obrázek 17 Čára zrnitosti směsi SMA NH	27
Obrázek 18 Laboratorní míchačka BITUMIX	28
Obrázek 19 Asfaltová směs v míchačce	28
Obrázek 20 Připravená asfaltová směs SMA NH	28
Obrázek 21 Díly forem	29
Obrázek 22 Marshallův rázový zhutňovač	29
Obrázek 23 Lázeň s pyknometry pro stanovení maximální objemové hmotnosti [30]	30
Obrázek 24 Vakuová komora	31
Obrázek 25 Sada mokrých těles před ponořením	31
Obrázek 26 Zkušební list pro stanovení ITSr	33
Obrázek 27 Tělesa vystavená účinkům mrazu a soli	35

Seznam tabulek

Tabulka 1 Maximální objemová hmotnost a mezerovitost směsi PA 8	34
Tabulka 2 Rozměry a objemové hmotnosti zkušebních těles	35
Tabulka 3 Výsledky zkoušek ITSR a modifikované ITSR PA8	36
Tabulka 4 Maximální objemová hmotnost a mezerovitost směsi SMA NH	38
Tabulka 5 Rozměry a objemové hmotnosti zkušebních těles	38
Tabulka 6 Výsledky zkoušek ITSR a modifikované ITSR	39
Tabulka 7 Porovnání sil při porušení	41
Tabulka 8 Porovnání hodnot ITSR S požadovanými hodnotami dané normou	43
Tabulka 9 Rozměry zkušebních těles PA 8	51
Tabulka 10 Rozměry zkušebních těles SMA NH	52

Seznam grafů

Graf 1 Propustnost [3].....	19
Graf 2 Průběh zatěžování při zkoušce ITSr.....	33
Graf 3 Maximální síly v příčném tahu při porušení směsi PA 8	37
Graf 4 Hodnoty ITSr směsi PA 8.....	37
Graf 5 Maximální síly při porušení v příčném tahu směsi SMA NH	40
Graf 6 Hodnoty ITSr směsi SMA NH.....	40
Graf 7 Srovnání směsi PA 8 x SMA NH.....	41

Přílohy

Tabulka 9 Rozměry zkušebních těles PA 8

PA 8	výška[mm]				průměr [mm]				objem [mm ³]	hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	v1	v2	v3		r1	r2	r3				
1	68,7	68,8	68,7	68,73	101,1	101,05	101,3	101,15	552317,83	1028,5	1862
2	65,3	65,4	65,25	65,32	101,2	101,1	101,1	101,13	524689,70	970,9	1850
3	68,3	68,2	68,35	68,28	101,8	101,5	101,4	101,57	553231,62	1021,7	1847
4	66	66,01	66	66,00	101,9	101,8	101,8	101,83	537570,80	998,2	1857
5	63,8	63,8	63,6	63,73	101,9	101,5	101,9	101,77	518403,13	942,5	1818
6	63,6	63,7	63,7	63,67	101,5	101,8	101,8	101,70	517182,59	965,7	1867
7	64	64,1	64,1	64,07	101,5	101,7	101,8	101,67	520090,81	968,5	1862
8	64,1	64,1	64,8	64,33	101,9	102	101,8	101,90	524655,59	960,8	1831
9	65	65	65,2	65,07	101,8	101,7	101,65	101,72	528728,45	970,2	1835
10	64,9	64,8	65	64,90	101,1	101,2	101	101,10	520999,00	962,3	1847
11	64,2	64,3	64,2	64,23	101,8	101,9	101,5	101,73	522127,89	962	1842
12	64	63,9	63,9	63,93	101,2	101,8	101,5	101,50	517308,14	966,1	1868
13	65	64,9	65	64,97	101,3	101,4	101,4	101,37	524289,06	960,5	1832
14	63,5	63,5	63,6	63,53	101,8	101,9	101,8	101,83	517453,64	948	1832
15	65,5	65,4	65,4	65,43	101,2	101,3	101,5	101,33	527707,89	961,2	1821

Tabulka 10 Rozměry zkušebních těles SMA NH

SMA NH	výška[mm]				průměr [mm]				objem [mm ³]	hmotnost [g]	Objemová hmotnost [kg/m ³]
	v1	v2	v3		r1	r2	r3				
1	64,1	64,3	64,2	64,20	101	101,3	101,2	101,17	516059,52	1058,2	2051
2	63,5	63,6	63,5	63,53	101,2	101,3	101,2	101,23	511373,95	1040,5	2035
3	64,5	64,6	64,6	64,57	101,5	101,2	101,4	101,37	521061,01	1051,8	2019
4	64,8	64,8	64,7	64,77	101,8	101,7	101,7	101,73	526463,15	1042,9	1981
5	63,2	63,2	63,3	63,23	100,9	101	100,9	100,93	505947,19	1023,4	2023
6	65	64,9	64,9	64,93	101,2	101,5	101,3	101,33	523675,48	1008,5	1926
7	63,9	64	64	63,97	101,8	101,5	101,5	101,60	518598,21	1020,1	1967
8	64,5	64,5	64,4	64,47	102	101,9	101,8	101,90	525742,96	1021,3	1943
9	65	65,1	64,9	65,00	101,8	101,8	101,7	101,77	528706,12	1023,4	1936
10	63,5	63,6	63,6	63,57	102	101,9	101,8	101,90	518403,22	1018	1964
11	64,9	64,8	64,8	64,83	102	102	101,7	101,90	528733,22	1015,3	1920
12	64	64	63,9	63,97	101,7	101,6	101,8	101,70	519619,58	1012,6	1949
13	63,9	63,8	63,8	63,83	101,2	101,2	101,3	101,23	513788,62	1012,5	1971
14	64,2	64,1	64,1	64,13	101,3	101,5	101,3	101,37	517563,96	1004	1940
15	64,9	64,8	64,9	64,87	101,4	101,3	101,4	101,37	523482,05	1012,2	1934

Protokol o zkoušce ITSR

Směs PA 8

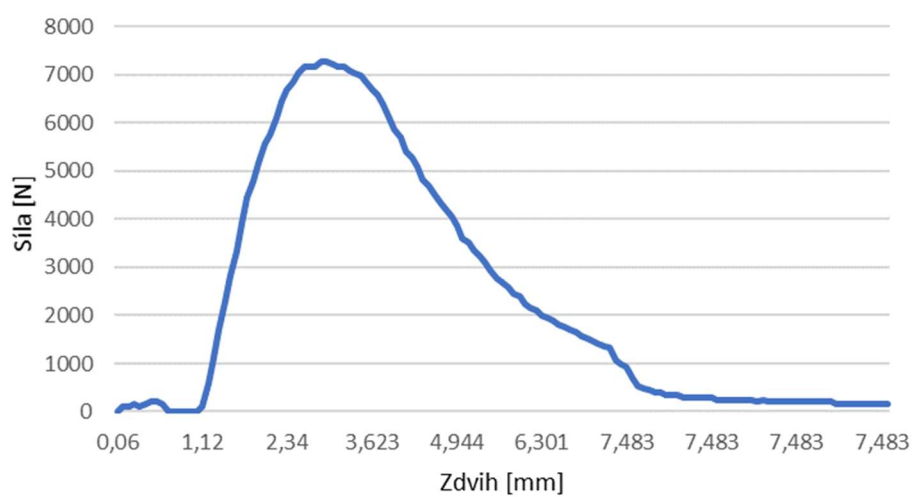
Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

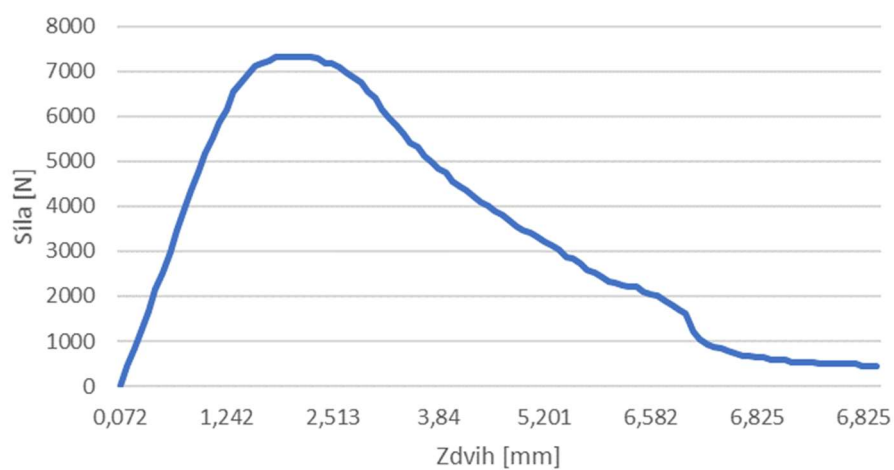
Teplota: 15 °C

Značení vzorků: suchá tělesa č.2 a č.4

Vzorek č.2



Vzorek č.4



Protokol o zkoušce ITSR

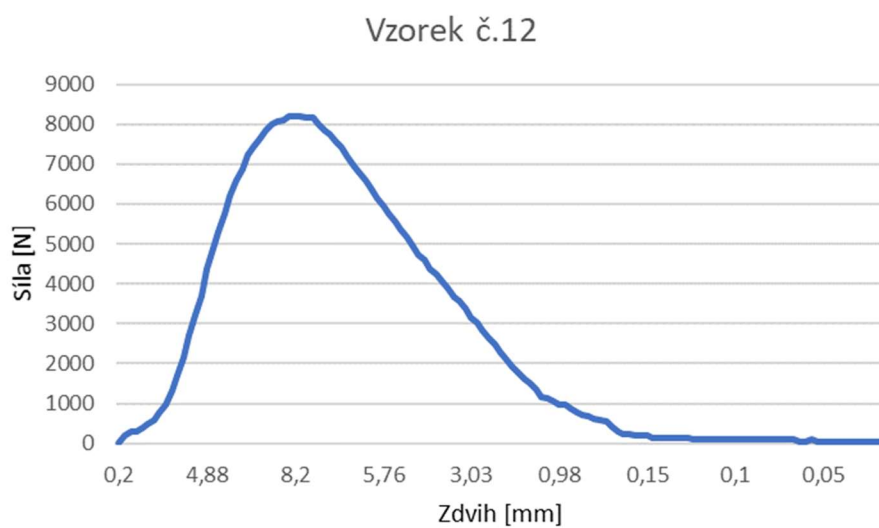
Směs PA 8

Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

Teplota: 15 °C

Značení vzorků: suchá tělesa č.12



Protokol o zkoušce ITSr

Směs PA 8

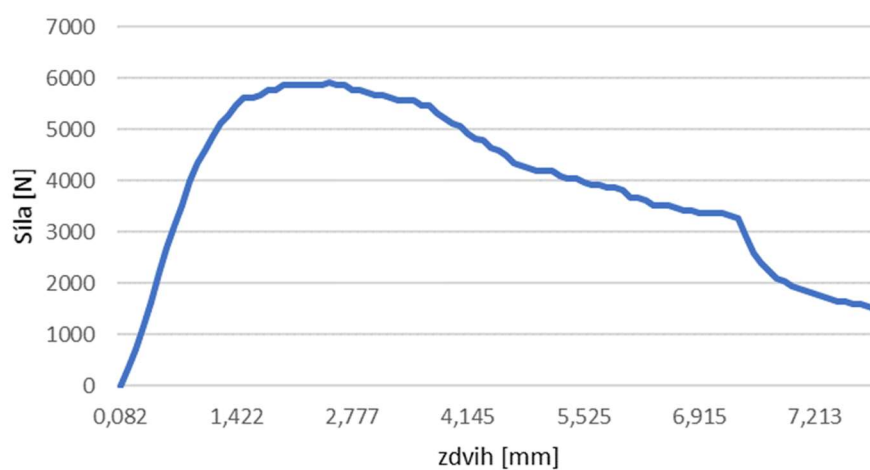
Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

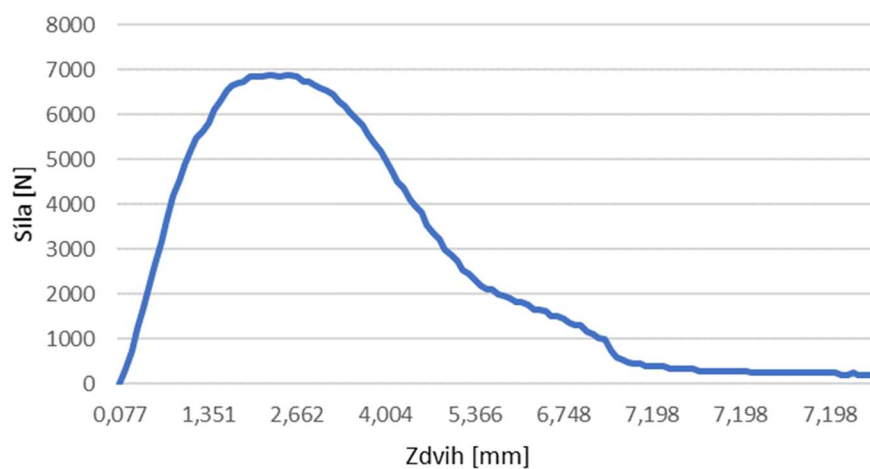
Teplota: 15 °C

Značení vzorků: mokrá tělesa č.1 a č.6

Vzorek č.1



Vzorek č.6



Protokol o zkoušce ITSR

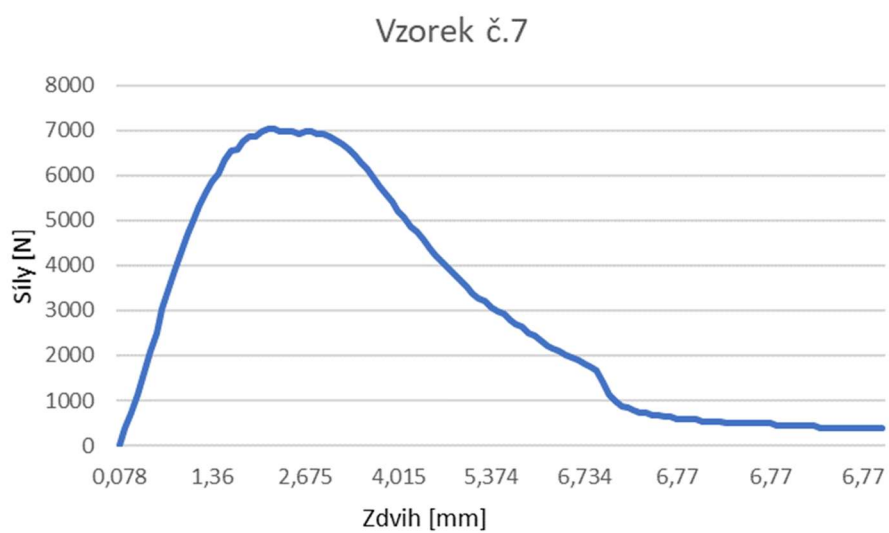
Směs PA 8

Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

Teplota: 15 °C

Značení vzorků: mokré těleso č.7



Protokol o zkoušce ITSR

Směs PA 8

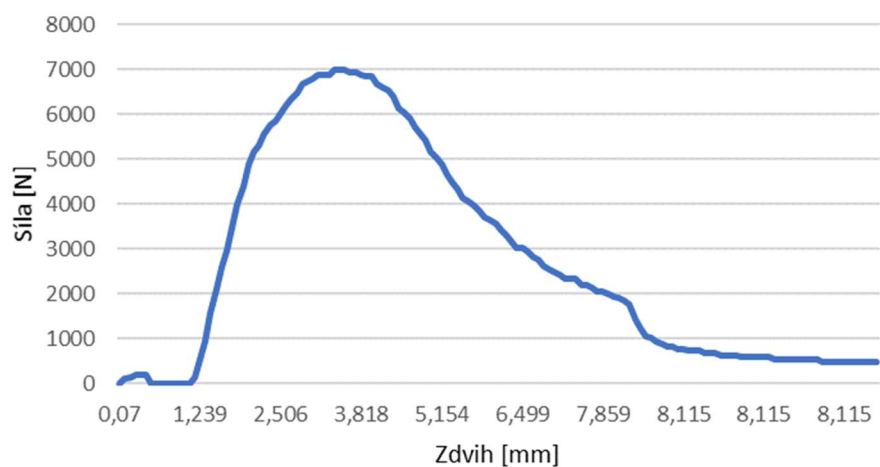
Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

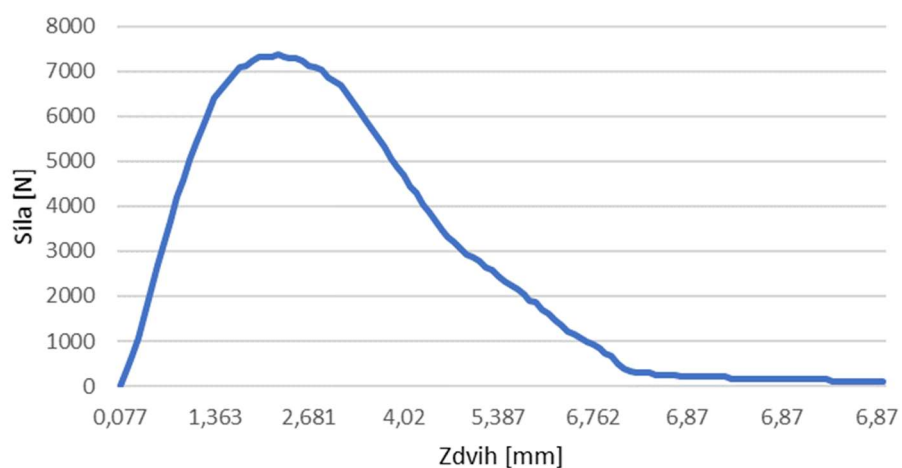
Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Mráz 1 cyklus, vzorky č. 8 a č. 9

Vzorek č.8



Vzorek č.9



Protokol o zkoušce ITSR

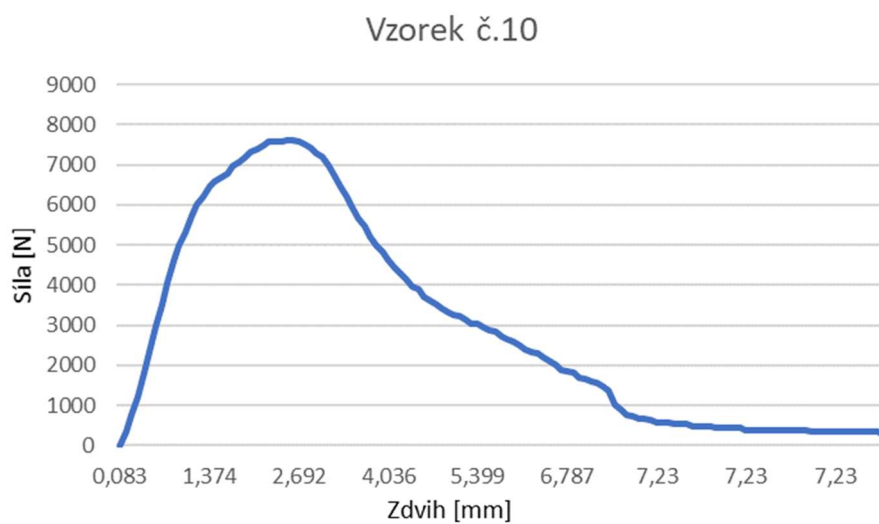
Směs PA 8

Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Mráz 1 cyklus vzorek č.10



Protokol o zkoušce ITSR

Směs PA 8

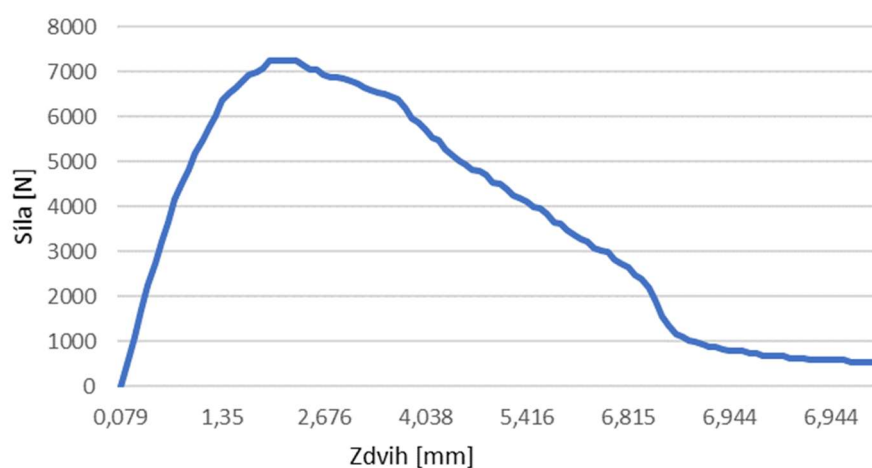
Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

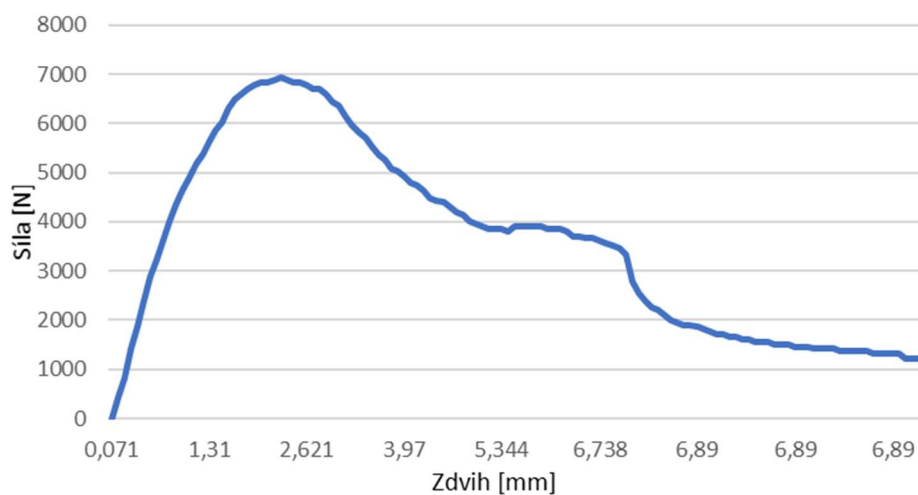
Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Mráz 10 cyklů vzorek č.3 a č.5

Vzorek č.3



Vzorek č.5



Protokol o zkoušce ITSR

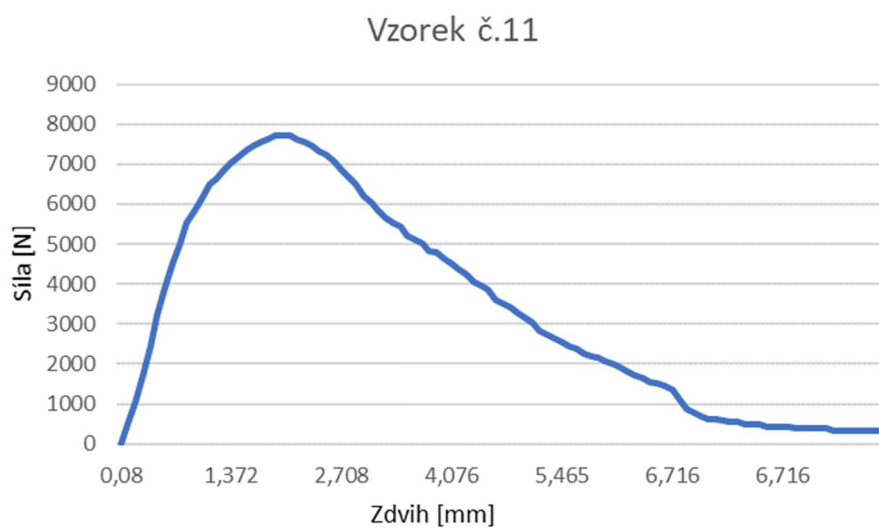
Směs PA 8

Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Mráz 10 cyklů vzorek č.11



Protokol o zkoušce ITSr

Směs PA 8

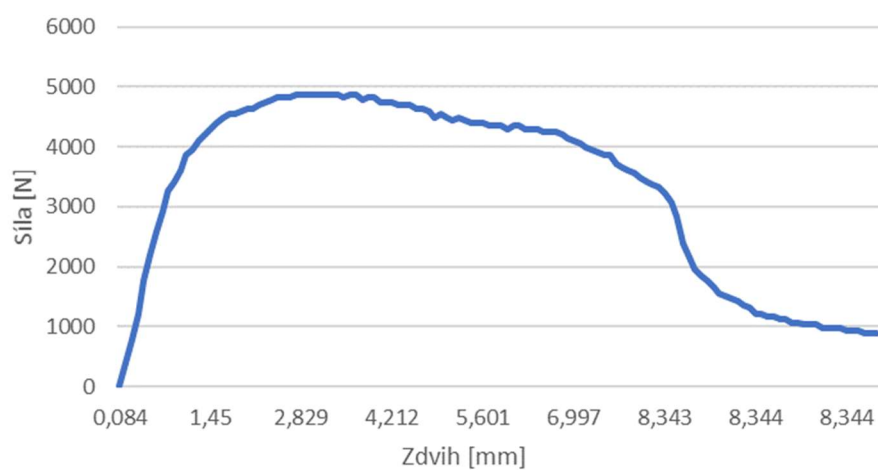
Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

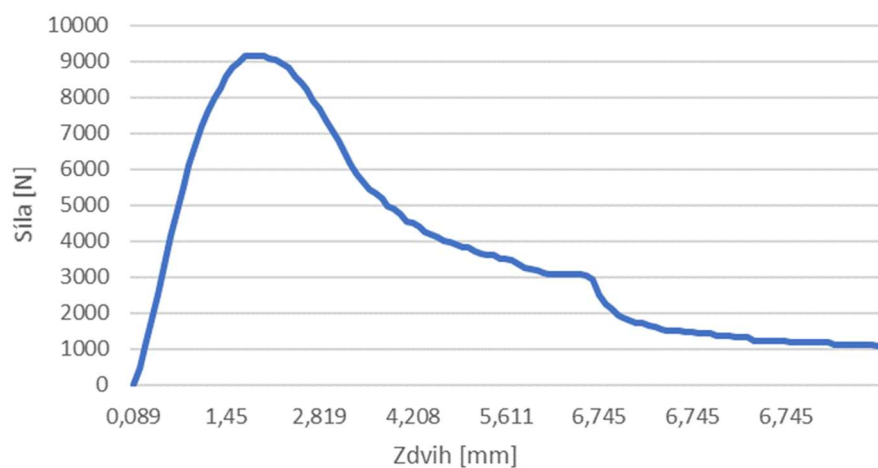
Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Sůl 10 cyklů vzorky č.13 a č.14

Vzorek č.13



Vzorek č.14



Protokol o zkoušce ITSR

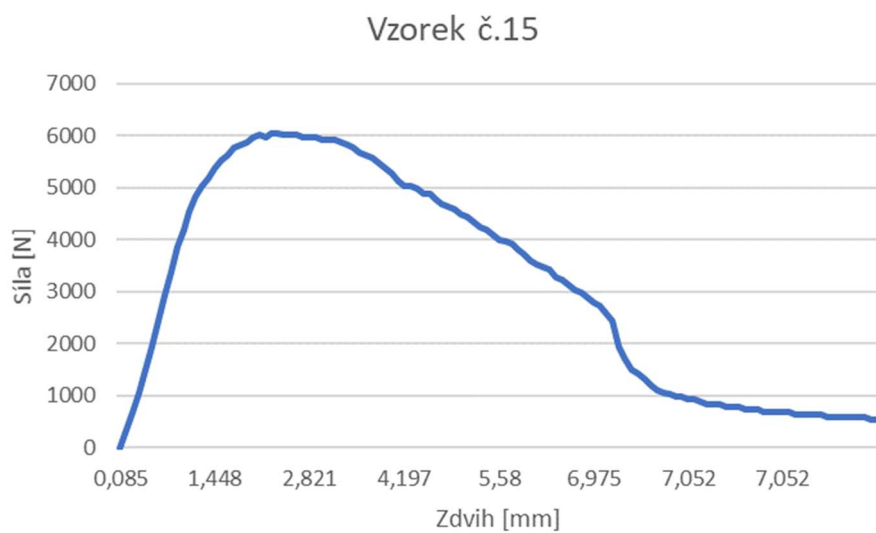
Směs PA 8

Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Sůl 10 cyklů vzorek č.15



Protokol o zkoušce ITSR

Směs SMA NH

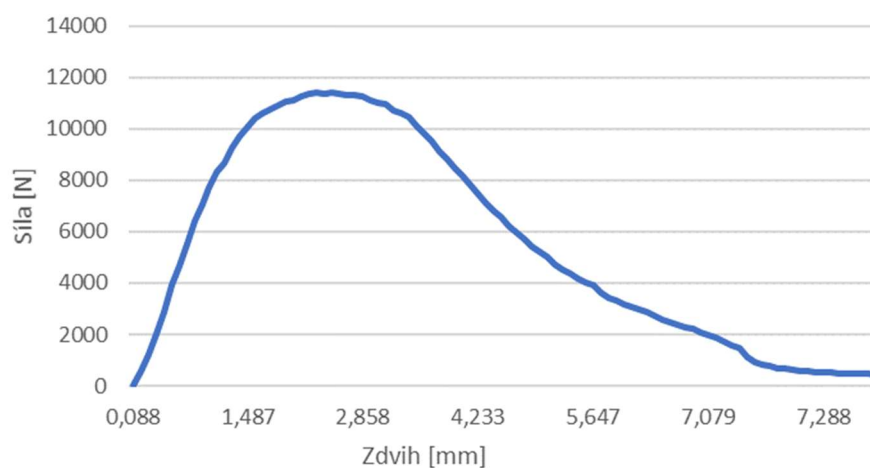
Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

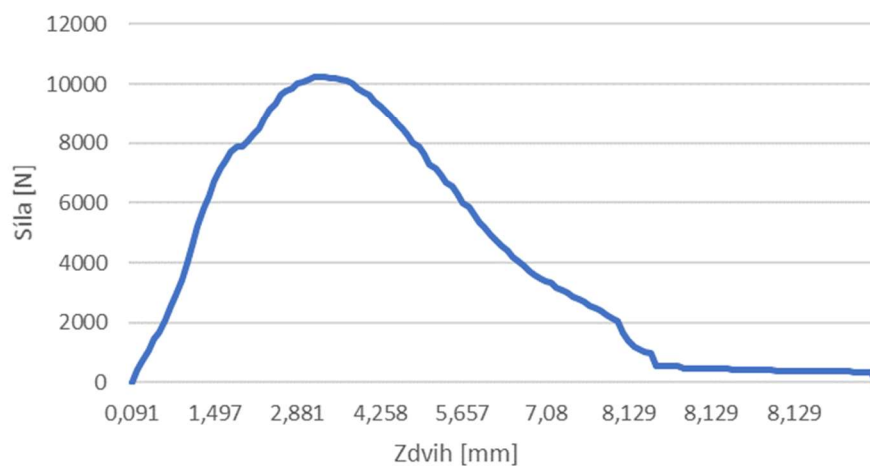
Teplota: 15 °C

Značení vzorků: suchá tělesa vzorky č.8 a č.12

Vzorek č.8



Vzorek č.12



Protokol o zkoušce ITSR

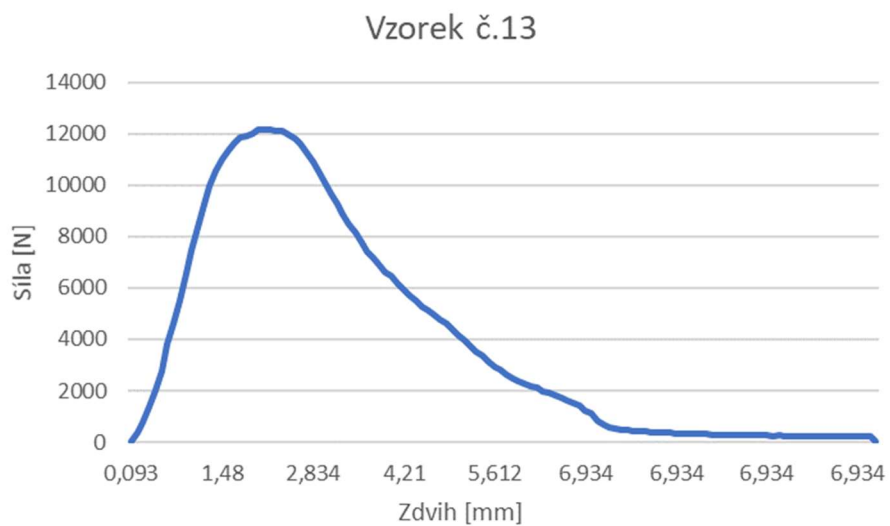
Směs SMA NH

Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

Teplota: 15 °C

Značení vzorků: suchá tělesa vzorek č.13



Protokol o zkoušce ITSR

Směs SMA NH

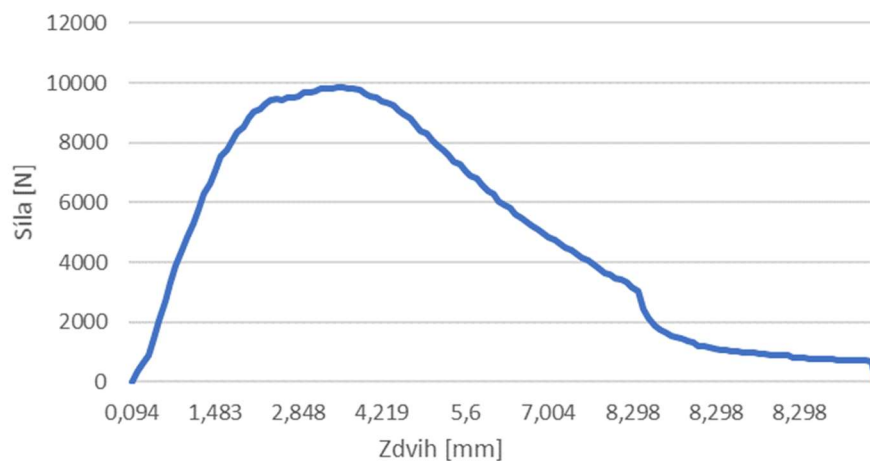
Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

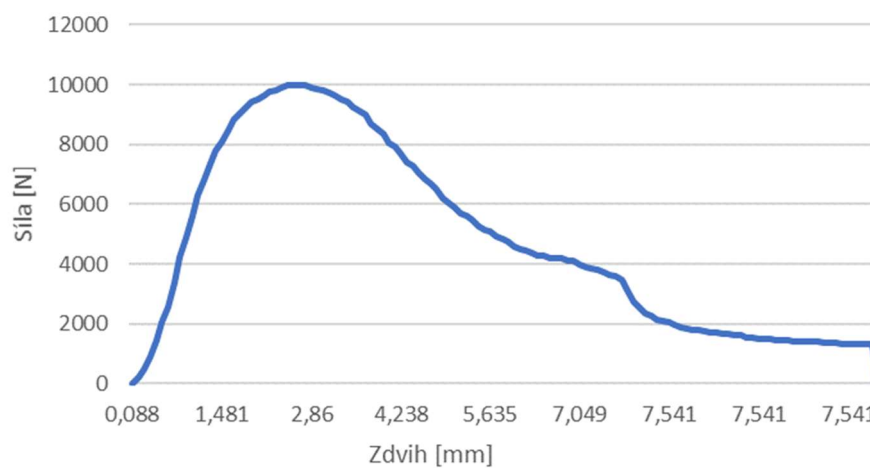
Teplota: 15 °C

Značení vzorků: mokrá tělesa vzorky č.1 a č.4

Vzorek č.1



Vzorek č.4



Protokol o zkoušce ITSR

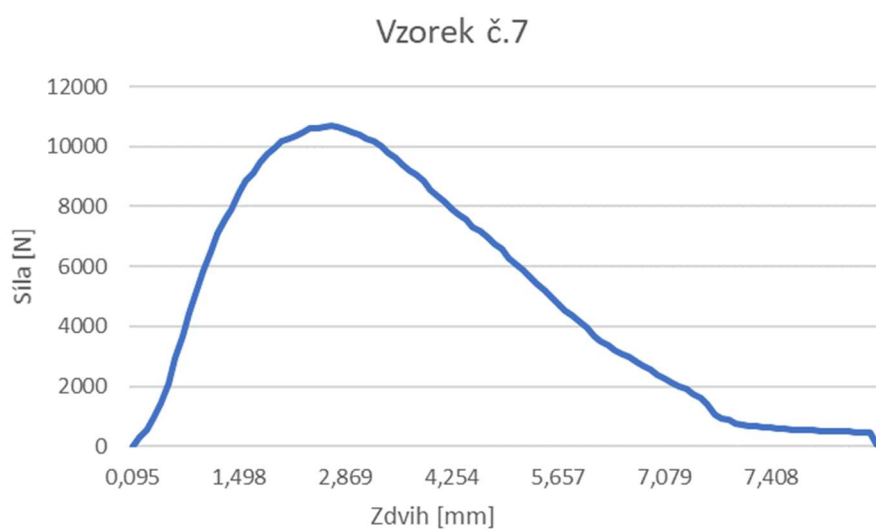
Směs SMA NH

Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

Teplota: 15 °C

Značení vzorků: mokrá tělesa vzorek č.7



Protokol o zkoušce ITSR

Směs SMA NH

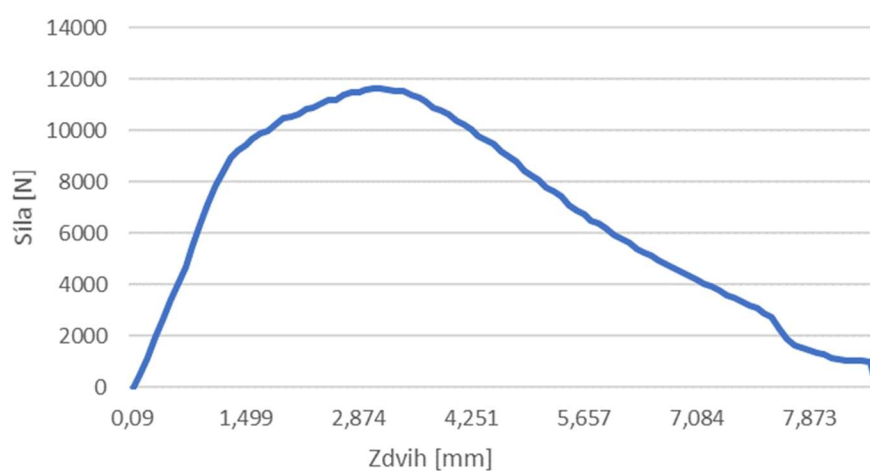
Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

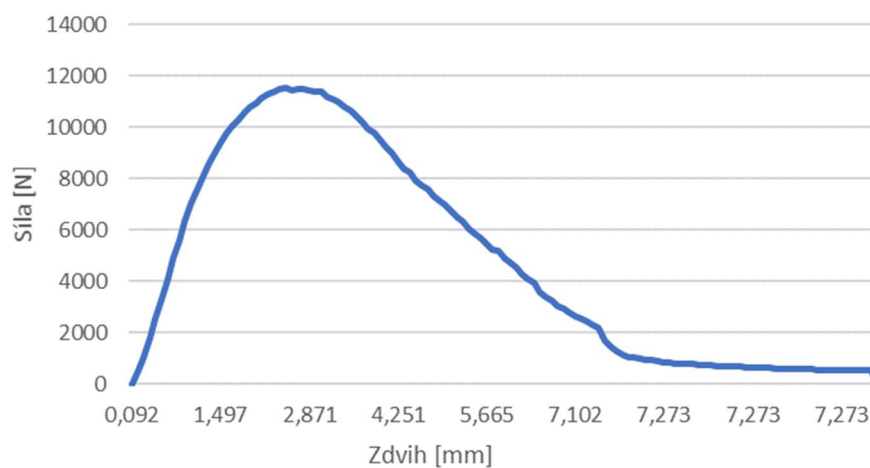
Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Mráz 1 cyklus vzorky č.9 a č.10

Vzorek č.9



Vzorek č.10



Protokol o zkoušce ITSR

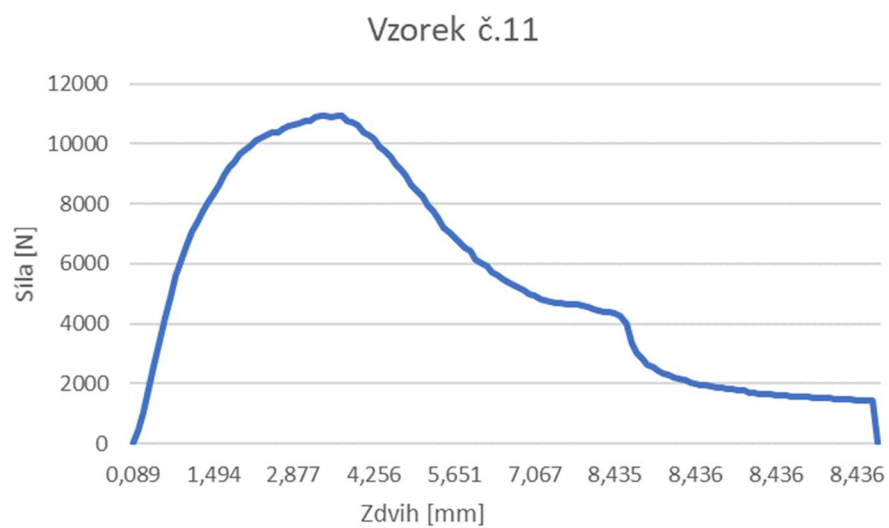
Směs SMA NH

Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Mráz 1 cyklus vzorek č.11



Protokol o zkoušce ITSR

Směs SMA NH

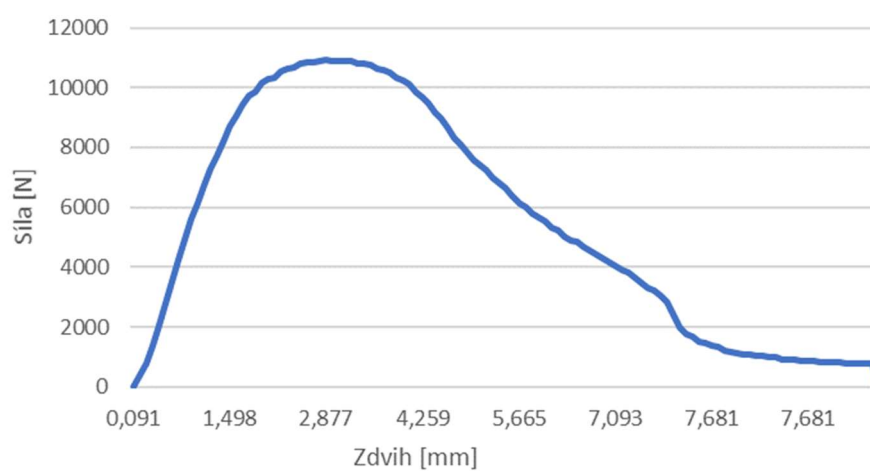
Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

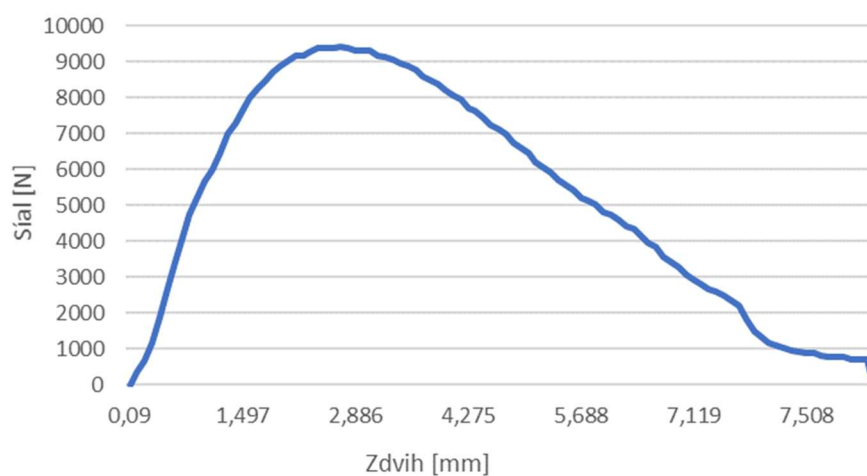
Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Mráz 10 cyklů vzorek č.3 a č.5

Vzorek č.3



Vzorek č.5



Protokol o zkoušce ITSR

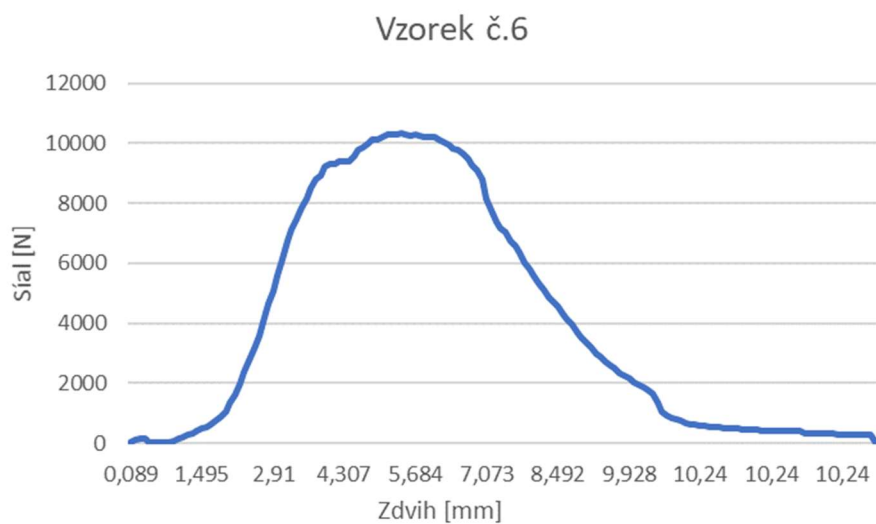
Směs SMA NH

Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Mráz 10 cyklů vzorek č.6



Protokol o zkoušce ITSR

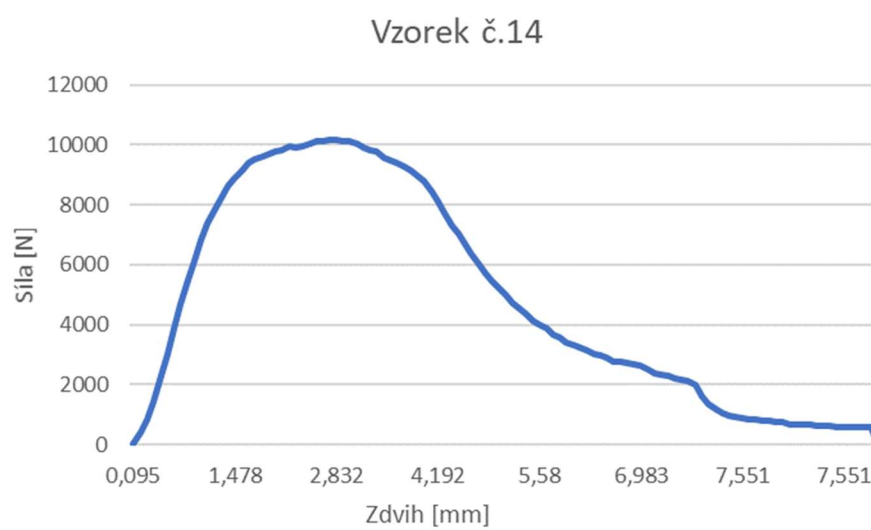
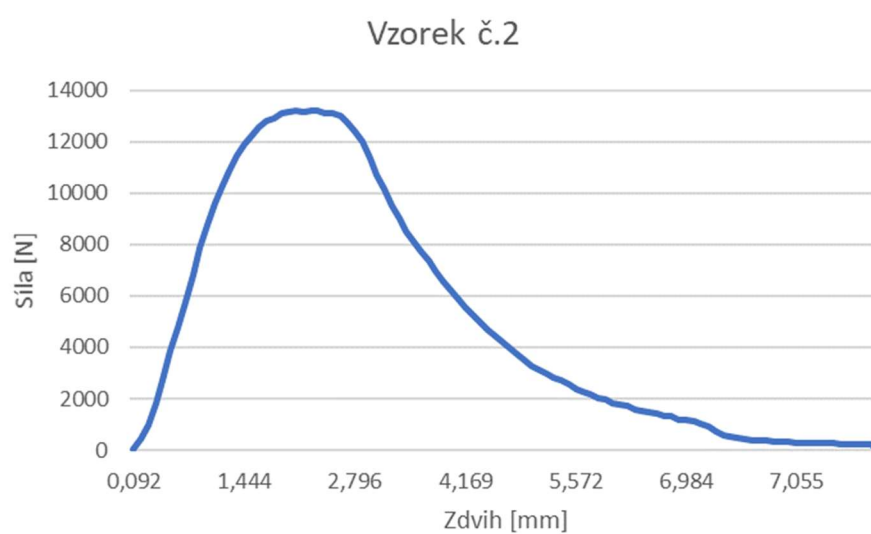
Směs SMA NH

Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Sůl 10 cyklů vzorky č. 2 č.14



Protokol o zkoušce ITSR

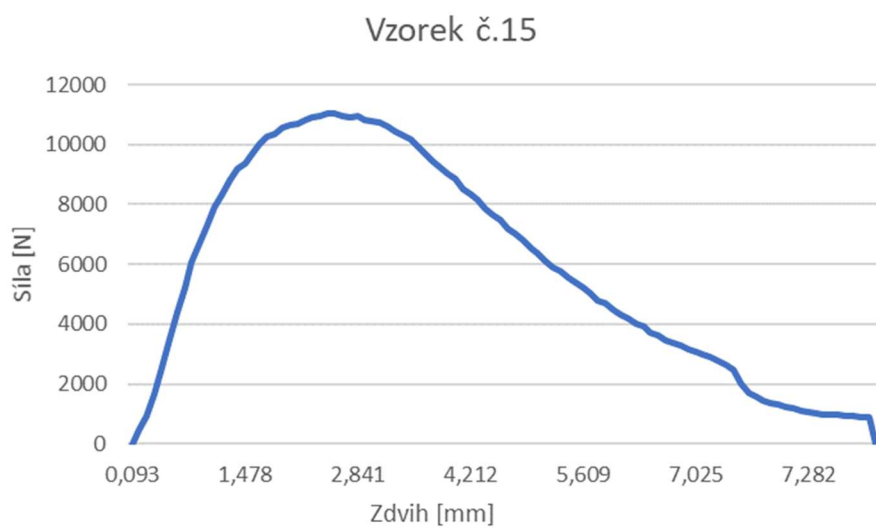
Směs SMA NH

Jméno: Tomáš Jakub

Datum: 27.2.2020

Teplota: 15 °C

Značení vzorků: Sůl 10 cyklů vzorek č.15



Rozhodovací diagram dispečera



Ministerstvo dopravy



ŘSD ČR
ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR

OBECNĚ

Tento diagram slouží pro zjednodušení složitého rozhodovacího procesu dispečera. Prosíme o jeho citlivou interpretaci. Platností je zaměřen na úseky silnic I. třídy, které jsou udržovány chemickými rozmrazovacími materiály.

Preventivní posyp 5–15, max. 20 g/m²
Reaktivní (likvidační) posyp 20–25(–30), max. 40 g/m²

Do nižších teplot a/nebo při větším množství vody na povrchu lze použít gramáž při horní hranici uvedených dávek, případně uvedená dávková zvýšit.

TECHNOLIE

Zkrápěná sůl Většina případů
Pouze solanka Pouze slabá námraza s teplotami těsně pod nulou
Pouze suchá sůl Pouze pokud je na vozovce dostatečně silná, souvislá vrstva vlhkosti, která zneškodní odlet zrn soli

MIMOŘÁDNÉ SITUACE

Pokud pro ošetření náledí či kluzkosti sněhové vrstvy selhává chemický posyp, je za mimořádných okolností přípustné použít směs chemických a zdršňovacích materiálů.

NÁMRAZA

Námraza, mrznoucí mlha, zmrzlá rosa, jíní, jinovatka
Technologie Zkrápěná sůl (ve specifických případech pouze solanka)

1

Před vznikem námrazy není vyžadována žádná akce.

2

V době vzniku námrazy posyp 5–15 g/m².

3

Při trvání dle intenzity námrazy po 2–3 h posyp 10–15 g/m².
Pokud námraza zesílila nebo je prognóza, že bude zesilovat, posyp 15–25 g/m².

MRZNOUCÍ DĚŠŤ

Projevem mrznoucího deště nebo mrznoucího mrholení je ledovka
Technologie Zkrápěná sůl (ve specifických případech snížení podílu solanky nebo dokonce pouze suchá sůl)

1

Zvýšený tlak na preventivní posyp před projevem ledovky, tj. těsně před příchodem mrznoucího deště nebo nejpozději při jeho počátku, a to dle jeho intenzity posyp 15–25 g/m².

2

Při trvání mrznoucího deště je setrvání chemického materiálu na vozovce značně proměnlivé (nestálé).
Dle intenzity jevu a prognózy trvání deště lze aplikovat likvidační posyp za 2–3 h nebo v reakci na hlášené kritické podmínky na vybraných úsecích v dávce 20–30(–40) g/m².

3

Po skončení deště dle výskytu ledovky místně a dle prognózy vývoje teplot posyp 10–25 g/m².

Manuál zimní údržby silnic aneb Manuál dispečera. Příloha 1. Verze 1/11/2013. © 2013 Ministerstvo dopravy ČR, Ředitelství silnic a dálnic ČR, CROSS Zlín, a.s.

Strana 1/2

Rozhodovací diagram dispečera



Ministerstvo dopravy



ŘSD ČR
ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR

SNĚŽENÍ

Mokro při sněžení, sníh na vozovce, sněhové jazyky, návěje, závěje, ujetý sníh
Technologie Zkrápěná sůl (ve specifických případech snížení podílu solanky nebo dokonce pouze suchá sůl)

1

Pokud hrozí ujetí či mrznutí a délka sněžení bude delší nebo intenzita bude významná.
První dávka před ujetím / zmrznutím na počátku sněžení dle intenzity sněžení a předpokládané délky trvání 10–25 g/m².

2

Při trvání sněžení odpluhování + dle intenzity sněžení a předpokládané délky trvání opakovaný posyp po 2–3 h v dávce 10–25 g/m².

3

Při ujetí nebo zmrznutí po 2–3 h odpluhování + posyp 20–40 g/m².

4

Při velké intenzitě sněžení lze nasadit pomocné pluhy (radlice) nebo se organizačně zaměřit na kritické úseky s opakovaným pluhováním + posypem po 1–2 h s dávkou 15–25 g/m².

5

Pokud nehrozí ujetí / zmrznutí a sníh se významně neukládá na povrchu vozovky a teploty jsou příznivé, jako i trend jejich vývoje dle prognózy, pak není vyžadována žádná akce.

6

Po skončení sněžení dle stavu silnic odpluhovat.
Dle prognózy vývoje teplot a dle zbytkové sněhové vrstvy buď neprovádět žádnou akci, nebo dle místní potřeby odpluhovat + posyp 5–15 g/m².

NÁLEDÍ

Náledí, led, zmrázky, zmrzlé mokro (zmrznutí mokrého povrchu po dešti nebo tání, tj. beze srážek). Ujetý sníh až od bodu 3.
Technologie Zkrápěná sůl (ve specifických případech snížení podílu solanky nebo dokonce pouze suchá sůl)

1

První posyp před zmrznutím dle množství vody na vozovce v dávce 10–20 g/m².

2

Další posyp lze opakovat při trvání podmínek na hranici mrznutí po 3 h s dávkou 10–20 g/m².

3

Pro odstraňování již vzniklého náledí dle intenzity (mocnosti) náledí posyp 20–40 g/m².

4

Po uvolnění zmrzlé vrstvy nebo její části (zpravidla za 2–4 h dle mocnosti náledí) se tato vrstva odpluhoje. Pokud na povrchu vozovky zůstává určitá vrstva náledí, opakuje se posyp v dávce dle mocnosti vrstvy, zpravidla 10–25 g/m².

Manuál zimní údržby silnic aneb Manuál dispečera. Příloha 1. Verze 1/11/2013. © 2013 Ministerstvo dopravy ČR, Ředitelství silnic a dálnic ČR, CROSS Zlín, a.s.

Strana 2/2